# কোষতত্ত্ব ও জীনতত্ত্ব

অমিয়কুমার চট্টোপাধ্যায়, এম. এস. সি
অধ্যাপক ঝাড়গ্রাম রাজ কলেজ

বুকল্যাণ্ড প্রাইভেট লিমিটেড
১, শংকর ঘোষ লেন,
কলকাতা-৬

প্রকাশক : শ্রীজানকীনাথ বসু
ব্রুকল্যাণ্ড প্রাইভেট লিমিটেড
১নং শংকর ঘোষ লেন। কলকাতা-৬

প্রকাশ : আষাঢ় ১৩৬৬

মুদ্রাকর : শ্রীগৌরীশংকর রায়চৌধুরী
বসুশ্রী প্রেস
৮০।৬ গ্রে স্ট্রীট
কলকাতা-৬

# সূচীপত্র

## প্রথম খণ্ড

## দ্বিতীয় খণ্ড

# ১ ॥ ভূমিকা

## সাইটোলজি বা কোষতত্ত্ব কি?

জীববিদ্যার যে শাখা পাঠ করলে 'সেল' (Cell বা কোষ) সম্পর্কে সম্যক ধারণা লাভ করা যায় তাকে 'সাইটোলজি' বা 'কোষতত্ত্ব' বলা হয়। এখন প্রশ্ন হতে পারে, 'সেল' কি? লোয়ি (Lowey) ও সীকেভিজ (Sickevitz) সেল-এর যে সংজ্ঞা নির্ধারণ করেছেন তা হচ্ছে, "ইহা জীবনের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত ক্রিয়াদির (biological activity) একটি একক, যার সীমা একটি সেমি-পার্মিয়েব্‌ল্ (semi-permeable বা আভেদ্য) পর্দা দ্বারা চিহ্নিত এবং যা অন্য কোনপ্রকার জীবন্ত-ব্যবস্থার মাধ্যম ব্যতি-রেকেই বংশবৃদ্ধি ঘটাতে পারে (A unit of biological activity delimited by a semi-permeable membrane and capable of self-reproduction in a medium free of other living systems)"। এই সংজ্ঞা অনুযায়ী ব্যাক্‌টিরিয়া অবশ্যই সেল, কিন্তু ভাইরাস (virus) সেল-রূপে গ্রাহ্য নয়—কেননা, ভাইরাস সেমি-পার্মিয়েব্‌ল্ বা আভেদ্য কোন পর্দা দ্বারা সীমাবদ্ধ থাকে না এবং কোন জীবন্ত সেল-এর (মাধ্যমের) ভিতরে অবস্থান না করলে তাদের বংশবৃদ্ধিও ঘটে না।

সেল-এর সংজ্ঞায় যে বায়োলজিক্যাল বা জীবন-সংক্রান্ত ক্রিয়ার কথা বলা হয়েছে সেই ক্রিয়া যে পদার্থটির দ্বারা সাধিত হয় তাকে 'প্রোটোপ্লাজ্‌ম' (protoplasm) বলে। সাইটোলজি বা কোষতত্ত্ব এই প্রোটোপ্লাজ্‌মের গঠন ও ক্রিয়ার অনুসন্ধানে নিয়োজিত জীববিদ্যার শাখা। এই প্রোটোপ্লাজ্‌মের অভ্যন্তরের বিভিন্ন অংশের গঠনসৌকর্য, ক্রিয়াপদ্ধতি এবং তার সংগে সমগ্র জীবদেহের মেটাবলিজ্‌ম্ (metabolism বা বিপাকীয় ক্রিয়া), বৃদ্ধি (growth), ক্রমবর্ধন (development), হেরিডিটি (heredity বা বংশগতি), ও ইভলিউশন-এর (evolution বা অভিব্যক্তি) যে সম্পর্ক, তাও এই শাখার আলোচনার বিষয়। এইকারণে সাইটোলজি বা কোষতত্ত্বকে জীববিজ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ শাখা বলা যেতে পারে, কেননা, যেকোন জীবেরই যাবতীয় কার্যকলাপের মূল কারণ প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে নিহিত।

## কোষ আবিষ্কারের সংক্ষিপ্ত ইতিহাস

একটি উদ্ভিদ্, একটি অ্যামিবা, একটি চিংড়ী, একটি পাখী বা একটি মানুষের মধ্যে বহিরাকৃতির কোন মিল না থাকলেও একটি বিষয়ে তাদের

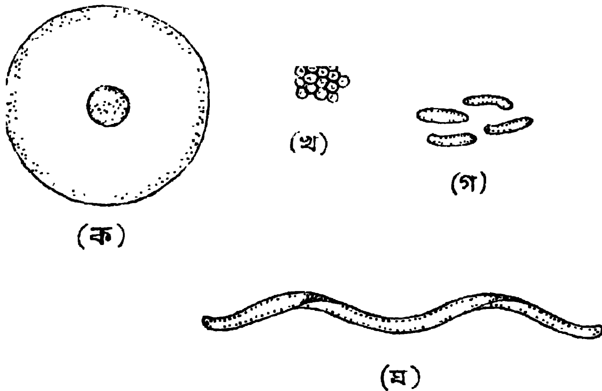
মধ্যে প্রগাঢ় মিল লক্ষ্য করা যায়। তা হচ্ছে, তাদের সকলের দেহই কোষ দ্বারা গঠিত। এই কোষের অস্তিত্ব সর্বপ্রথম আবিষ্কৃত হয় ১৬৬৫ খ্রীষ্টাব্দে রবার্ট হুক (Robert Hooke) নামে একজন ইংরাজ-বিজ্ঞানীর পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে। তিনি বোতলের ছিপির (cork) একটি সূক্ষ্ম ফালি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নীচে রেখে লক্ষ্য করেন যে, তার মধ্যে মৌমাছির চাকের মত অসংখ্য প্রকোষ্ঠ রয়েছে। মৌচাকের ছোট-ছোট ঘরগুলিকে ইংরাজীতে বলা হয় 'সেল' (cell)। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নীচে রবার্ট হুক যা লক্ষ্য করেন তার সঙ্গে মৌচাকের সেল-এর যথেষ্ট সাদৃশ্য থাকায় তিনিই প্রথম ঐগুলির নামকরণ করেন সেল (বা কোষ)। যেহেতু বোতলের ছিপি একটি মৃত পদার্থ, অতএব রবার্ট হুক যা দেখেছিলেন সেগুলি নিশ্চিতরূপেই মৃত কোষের প্রাচীরের পরিধি (বা cell wall); তাদের মধ্যে প্রোটোপ্লাজ্‌মের কোন অস্তিত্বই ছিল না। বহু বছর পর, ১৮২৪ খ্রীষ্টাব্দে ডিউট্রখ্‌ট্‌ (Dutrochet) নামে ফরাসীদেশীয় একজন বিজ্ঞানী প্রকাশ করেন যে সমস্ত প্রাণী এবং উদ্ভিদের দেহই কোষ দ্বারা গঠিত। ১৮৩৩ খ্রীষ্টাব্দে ব্রাউন (Brown) উদ্ভিদ-কোষের ভিতর নিউ-ক্লিয়স-এর উপস্থিতি লক্ষ্য করেন। ১৮৩৮ খ্রীষ্টাব্দে জার্মানিদেশীয় টি. সোয়ান (T. Schwann) নামে প্রাণিবিদ এবং এম. জে. স্লেইডেন (M. J. Schleiden) নামে উদ্ভিদ্‌বিদ সেল থিওরি (cell theory বা কোষ মতবাদ) ঘোষণা করেন। এই থিওরি অনুযায়ী, সমস্ত জীব-দেহই সেল ও সেল থেকে উদ্ভূত পদার্থ দ্বারা গঠিত এবং জীবদেহের বৃদ্ধি ও বংশবিস্তার মূলত সেলের বিভাজনের (division) দ্বারাই হয়ে থাকে। 'সেল থিওরি'-র প্রবক্তা বৈজ্ঞানিক দুজন এবং পরবর্তীকালে অন্যান্য জীব-বিজ্ঞানীরা স্থির সিদ্ধান্তে পেঁৗছেন যে 'সেল'-ই সকল জীবদেহের গঠন ও কার্যকারিতার মূলে অধিষ্ঠিত। কোষ সম্পর্কে আমাদের জ্ঞানলাভের ইতিহাসে 'সেল থিওরি'-র ঘোষণা অতীব গুরুত্বপূর্ণ।

কোষতত্ত্বের ইতিহাসের গোড়ার দিকে প্রোটোপ্লাজ্‌ম, সম্ভবত তার স্বচ্ছতার জন্য, গবেষকদের দৃষ্টি এড়িয়ে থেকেছিল। এই বস্তুটি সর্বপ্রথম ফরাসী-বৈজ্ঞানিক ফেলিক্স দুজার্‌দিন-এর (Felix Dujardin) নজরে আসে এবং তিনি এটির নামকরণ করেন সার্‌কোড (Sarcode)। ১৮৪৬ খ্রীষ্টাব্দে জার্মানিদেশীয় বৈজ্ঞানিক হিউগো ভন্‌ মহ্‌ল (Hugo Von Mohl) 'প্রোটোপ্লাজ্‌ম' (protoplasm) শব্দটি ব্যবহার করেন। সুল্‌ট্‌জ (Schultz) ১৮৬৩ খ্রীষ্টাব্দে প্রোটোপ্লাজ্‌মকে 'জীবনের পদার্থিক আধার'-রূপে (the physical basis of life) বর্ণনা করেন। অতীতে

সাইটোপ্লাজ্‌ম ও নিউক্লিয়সের গঠন ও ক্রিয়া বিশদভাবে জানা ছিল না বলে এই দুই অংশকে সে-সময়ে পৃথক্‌ভাবে আলোচনা করা যায় নি।

## কোষের আকৃতি

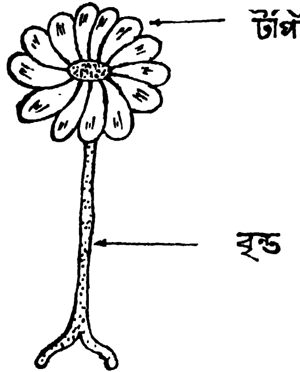
সেল বা কোষের কোন একটি নির্দিষ্ট আকার নেই। এটি গোলাকার থেকে আরম্ভ করে সূঁচের আকার পর্যন্ত ভিন্ন-ভিন্ন ধরণের হতে পারে। প্রকৃতপক্ষে, প্রাণী ও উদ্ভিদের সেলের আকৃতির বৈচিত্র্যের শেষ নেই। তবে অধিকাংশ সেল-ই গোল আকৃতিবিশিষ্ট, যেমন, বহু প্রাণীর ডিম, বহু ব্যাক্‌টিরিয়া (bacteria) ও ঈস্ট্‌ (yeasts), মানুষের রক্তের লোহিত কণিকা (R.B.C.) ইত্যাদি। কিছু ব্যাক্‌টিরিয়ার সেল আবার রড্‌ (rod বা দণ্ড), কম্যা (comma) অথবা স্পাইরাল (spiral বা সর্পিল) হতে পারে (১নং চিত্র)। অদ্ভুত আকৃতির সেল দেখা যায়



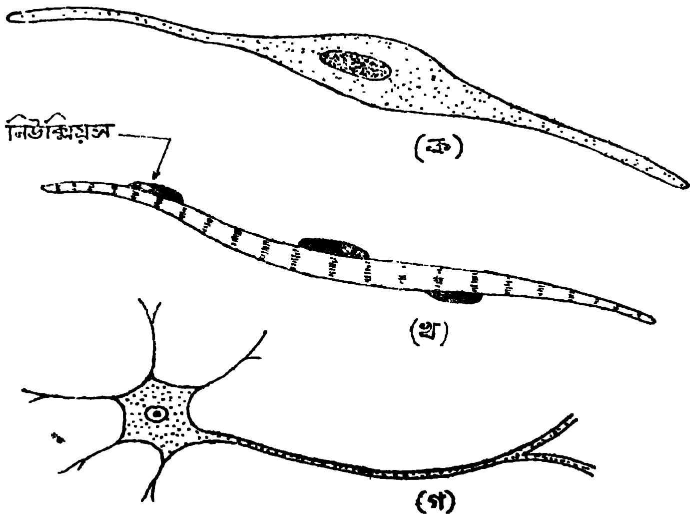

১ নং চিত্র :—(ক) শামুকের নিষিক্ত ডিম—গোলাকার সেল। (খ—ঘ) বিভিন্ন আকারের ব্যাক্‌টিরিয়ার সেল—(খ) গোলাকার, (গ) রড্‌ আকৃতির, (ঘ) স্পাইরাল আকৃতির।

অ্যাসিটেবুলেরিয়া (Acetabularia) নামে একটি সামুদ্রিক শৈবালে (alga)। এদের দেহ একটিমাত্র সেল দিয়ে তৈরী। ঐ সেলটি ৯ থেকে ১০ সেণ্টিমিটার উঁচু একটি বৃন্ত (stalk) এবং তার মাথায় একটি টুপির (cap) মত অংশ ও গোড়ায় মূলের মত রাইজয়েড্‌ (rhizoid) নিয়ে গঠিত (২নং চিত্র)। রাইজয়েডের মধ্যে থাকে নিউক্লিয়সটি। বহুকোষী

প্রাণিদের নার্ভ-সেল (nerve cells বা স্নায়ু কোষ) এবং মাস্‌ল্‌-সেলের (muscle cell বা পেশী কোষ) আকৃতিও অদ্বিতীয় (৩নং চিত্র)। এরা




২ নং চিত্র :—অ্যাসিটেবুলেরিয়া। বংশবিস্তারের দশায় প্রবেশের পূর্ব-মুহূর্ত পর্যন্ত এরা এককোষী থাকে। বংশবিস্তারের সময় টুপিটি অনেকগুলি পুনরুৎপাদী কোষে বিভক্ত হয়।




৩ নং চিত্রঃ—(ক) ইন্‌ভলান্‌টারি মাস্‌ল্‌ সেল (অনৈচ্ছিক পেশী কোষ), (খ) ভলান্‌টারি মাস্‌ল্‌ সেল (ঐচ্ছিক পেশী কোষ), (গ) নার্ভ সেল (স্নায়ু কোষ)।

লম্বাটে ধরণের সেল; এদের মধ্যে নার্ভ-সেলগুলি আবার শাখা-প্রশাখা-বিশিষ্ট। প্রাণিজগতে স্পার্ম-এর (sperm বা শুক্রাণু) আকৃতিও বিভিন্ন ধরণের হয়ে থাকে।

## কোষের আয়তন

আকৃতির ন্যায় সেল-এর আয়তনও বিভিন্ন প্রকারের হয়। অদ্যাবধি যত সেলের কথা জানা গেছে তার মধ্যে ক্ষুদ্রতম সেল হচ্ছে মাইকোপ্লাজ্‌মা গ্যাল্লিসেপ্‌টিকাম (*Mycoplasma gallisepticum*) নামে প্রাণির কোষ। এই প্রাণিরা গৃহপালিত মুরগীর শ্বাসযন্ত্রে এক ধরণের রোগের সৃষ্টি করে থাকে। মাইকোপ্লাজ্‌মা-র ক্ষুদ্রতম স্পিসিসের (Species বা প্রজাতি) সেলের ব্যাস ০·১ মাইক্রন (১ মাইক্রন=এক মিলিমিটারের হাজার ভাগ) অর্থাৎ, এদের আয়তন ভাইরাস-এর আয়তনের কাছাকাছি। তবুও এরা ভাইরাস নয়, পূর্ণাঙ্গ সেল; কেননা, সেলের সমুদয় বস্তুই তাদের মধ্যে আছে। সর্বাপেক্ষা বড় সেল হচ্ছে স্তন্যপায়ী প্রাণিদের নার্ভ-সেল বা স্নায়ু-কোষ—শাখা-প্রশাখাসহ এদের দৈর্ঘ্য ৩ ফুটেরও বেশী হতে পারে। বিভিন্ন পাখীর ডিম নার্ভ-সেলের মত অত বড় না হলেও, জীবজগতের অধিকাংশ সেলের তুলনায় আয়তনে বেশ বড় হয়। পাখীদের মধ্যে সবচেয়ে




৪ নং চিত্র :—বিভিন্ন ধরণের সেল-এর আনুপাতক আয়তন। প্রতিটি আকারে ১০০ গুণ বড় করে দেখানো হয়েছে।

বড় ডিম হচ্ছে উটপাখীর—খোসাসহ তার দৈর্ঘ্য হচ্ছে প্রায় ৬ ইঞ্চি এবং খোসাছাড়া দৈর্ঘ্য ৩ ইঞ্চি। এই সূত্রে মনে রাখা দরকার যে, জীবজগতে যত প্রকার সেল দেখা যায় দু'-একটি ছাড়া তাদের সকলেই আকারে খুব ছোট, এতই ছোট যে অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যতীত খালি চোখে তাদের দেখা সম্ভব হয় না। উদাহরণস্বরূপ উল্লেখ করা যেতে পারে যে, টাইফয়েড-ব্যাক্‌টিরিয়ার আনুমানিক দৈর্ঘ্য ২·৪ মাইক্রা, এরিথ্রোসাইট (erythro-

cytes বা লোহিত কণিকা), লিভার সেল (liver cells বা যকৃতের কোষ) এবং মানুষের ডিমের আনুমানিক ব্যাস যথাক্রমে ৭ মাইক্রা, ২০ মাইক্রা ও ১০০ মাইক্রা।

## কোষের গঠন (Structure)

যেসব অংশ নিয়ে সেল বা কোষ গঠিত তাদের তারতম্যের শেষ নেই।

৬ নং চিত্র :—একটি আদর্শ কোষ (ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা)।

এইজন্য আমরা 'আদর্শ সেলের অংশগুলি' (structure of a typical cell) বলে যা বর্ণনা করি তা কিছুটা কাল্পনিক। তবুও একটি আদর্শ সেলের ভিতর কি কি জিনিষ পাওয়া যেতে পারে তা জানা প্রয়োজন।

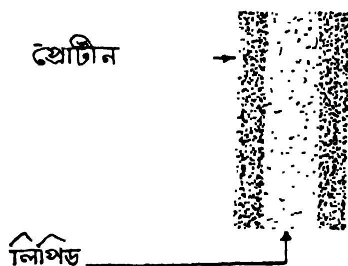
প্রথম দৃষ্টিতেই প্রায় প্রতিটি কোষের মধ্যে যে গোলাকার অংশটি সুস্পষ্টরূপে প্রতিভাত হয়, তার নাম নিউক্লিয়স (nucleus) [ ৫নং চিত্র ] এবং বাকী অংশটুকুকে সাইটোপ্লাজ্‌ম (cytoplasm) বলা হয়। সাইটোপ্লাজ্‌মে যে-সকল অংশ থাকে তাদের দু'টি শ্রেণীতে ভাগ করা যেতে পারে, যথাঃ—(১) সেলের অঙ্গ (organelles) ও (২) সেলস্থ বা কোষস্থ বস্তু (cell inclusions), যদিও এরূপ শ্রেণীবিভাগ সকলে অনুসরণ করেন না। সেলের 'অঙ্গ' বলতে সেই অংশগুলিকেই বোঝানো হয়, যেগুলি সেলের পক্ষে প্রয়োজনীয় এক বা একাধিক কার্য সম্পাদন করে, অপরপক্ষে 'কোষস্থ বস্তু'-গুলি নির্দিষ্ট কোন কার্য সমাধা করে না, অথবা কোন কাজ করলেও সে কাজটি সেলের জীবনধারণের পক্ষে অত্যাবশ্যকীয় নয়। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, মাইটোকন্‌ড্রিয়া (mitochondria), গল্‌গি (golgi), এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম (endoplasmic reticulum) ইত্যাদি হচ্ছে সেলের 'অঙ্গ' এবং সেক্রিটরি গ্র্যানিউল্‌স্‌ (secretory granules বা ক্ষরিত দানা), পিগ্‌মেন্ট্‌স্‌ (pigments বা রঞ্জক পদার্থ), সঞ্চিত খাদ্য ইত্যাদি হচ্ছে 'কোষস্থ বস্তু'। এক্ষেত্রে উল্লেখ করা যেতে পারে যে, অর্গ্যানেলগুলি বা অঙ্গগুলি জীবন্ত এবং বস্তুগুলি মৃত।

প্রতিটি সজীব সেল-এই প্রোটোপ্লাজ্‌ম থাকে। এটি একটি আঠাল বা চট্‌চটে (viscous) জলীয় পদার্থ এবং প্রধানত জল, কার্বন (carbon বা অঙ্গারক), হাইড্রোজেন (hydrogen), অক্সিজেন (oxygen) এবং নাইট্রোজেন (nitrogen) দ্বারা গঠিত, যদিও অন্যান্য মৌলিক পদার্থ যথা, ক্যালসিয়াম (calcium), সোডিয়াম (sodium), পটাশিয়াম (potassium) এবং সালফার-ও (sulphur বা গন্ধক) এর মধ্যে পাওয়া যায়। নিউক্লিয়স-সমেত সাইটোপ্লাজ্‌মকে প্রোটোপ্লাজ্‌ম বলা হয়।

প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে অজৈব-পদার্থগুলির ঘনত্ব (density) সমুদ্রের জলে তাদের ঘনত্বের প্রায় সমান। অজৈব-পদার্থ (inorganic substances) ছাড়াও অনেক জৈব-পদার্থ (organic materials) প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে পাওয়া যায়। গ্লুকোজ্‌ (glucose), ফ্রাক্‌টোজ্‌ (fructose), গ্লাইকোজেন (glycogen) প্রভৃতি কার্বোহাইড্রেট (carbohydrates), প্রায় ২০ প্রকারের অ্যামিনো অ্যাসিড (amino acids) এবং

নানা প্রকারের ফ্যাটি অ্যাসিড (fatty acids) প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে সনাক্ত করা গেছে। অধিকাংশ প্রাণি-কোষের প্রোটোপ্লাজ্‌মে শতকরা প্রায় ৮০ ভাগ জল, ১৫ ভাগ প্রোটীন (protein), ৩ ভাগ ফ্যাট (fats বা স্নেহ-পদার্থ), ১ ভাগ কার্বোহাইড্রেট ও ১ ভাগ অন্যান্য অজৈব-পদার্থ থাকে।

প্রোটোপ্লাজ্‌ম একটি খুব পাতলা আবরণী দ্বারা ঘেরা থাকে, তার নাম প্লাজ্‌মা-পর্দা (plasma membrane) [৫নং চিত্র]। বস্তুত, প্লাজ্‌মা-পর্দাটি প্রোটোপ্লাজ্‌ম দ্বারাই গঠিত—কতিপয় বিশেষ কার্য সম্পন্ন করার জন্য তার আকারের কিছু পরিবর্তন ঘটেছে। এটি লিপিড (lipid) ও প্রোটীন দ্বারা তৈরী—লিপিড থাকে মাঝখানে এবং তার দু'ধারে থাকে




৬ নং চিত্র :—প্লাজ্‌মা মেমব্রেনের অতি-সূক্ষ্ম গঠন সৌকর্য।

প্রোটীনের স্তর (৬নং চিত্র)। প্লাজ্‌মা-পর্দায় কিছু সূক্ষ্ম ছিদ্রের অস্তিত্ব কল্পনা করা হয়, যাদের ব্যাস আনুমানিক ৮ অ্যাংস্ট্রম (Angstrom) [১ অ্যাংস্ট্রম=এক মাইক্রনের হাজার ভাগ এবং এক মিলিমিটার-এর লক্ষ ভাগ] বলে অনুমান করা হয়ে থাকে। এই পর্দা কোষের ভেতরের সমুদয় বস্তুকে রক্ষা করে, যদিও এর প্রধান কাজ হচ্ছে বাইরে থেকে কোষের ভিতরে এবং ভিতর থেকে কোষের বাইরে বিভিন্ন পদার্থের চলাচলকে নিয়ন্ত্রণ করা।

সাইটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে অসংখ্য সূক্ষ্ম নালিকা জালের আকারে বিস্তৃত থাকে। এই নালিকাগুলির ঝিল্লীসদৃশ (membranous) প্রাচীর-ও প্লাজ্‌মা-পর্দার মত লিপিড ও প্রোটীন দ্বারা তৈরী। এই নালিকাগুলিকে বলা হয় এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম (endoplasmic reticulum) [৫নং চিত্র]। দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে (light microscope) এদের দেখা যায় না। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র

(electron microscope) ব্যবহার করে এদের দেখা সম্ভব হয়েছে। নিউক্লিয়স থেকে প্লাজ্‌মা-পর্দা অবধি সর্বত্রই এরা বিস্তৃত থাকে এবং কোষের কোন-কোন স্থানে এরা প্লাজ্‌মা-পর্দার সঙ্গে সংলগ্ন থাকে। এন্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের বহির্গাত্রে অনেক সময় অতি ক্ষুদ্র বিন্দুর মত কতকগুলি অংশ দেখা যায়, তারা রাইবোসোম (ribosome) নামে পরিচিত (৫নং চিত্র)। প্রতিটি রাইবোসোমের ব্যাস ১০০—১৫০ অ্যাংস্ট্রম। রাইবোসোমগুলি প্রোটীন ও রাইবোনিউক্লীক অম্ল (Ribonucleic acid or R N A) দ্বারা গঠিত এবং 'প্রোটীন সিন্থেসিস'-এ (protein synthesis বা প্রোটীন সংশ্লেষণ) তারা অতীব প্রয়োজনীয়।

এন্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের নালিকাগুলিতে কোষের সেক্রিটরি (secretory বা ক্ষরিত) পদার্থসমূহ সঞ্চিত থাকে এবং ঐ নালিকাতন্ত্রের মাধ্যমে ঐ-সকল পদার্থ কোষের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে, অথবা কোষ থেকে কোষের বাইরে পরিবাহিত হয়। এদের মাধ্যমে প্লাজ্‌মা-পর্দা থেকে কোষের ভিতরে উত্তেজনা চলাচলও অসম্ভব নয়।

সাইটোপ্লাজ্‌ম থেকে কোষের যাবতীয় সজীব (living) অংশকে বাদ দিলে যা অবশিষ্ট থাকে, তা' হায়ালোপ্লাজ্‌ম (hyaloplasm) নামে পরিচিত। অর্থাৎ, হায়ালোপ্লাজ্‌ম হচ্ছে সাইটোপ্লাজ্‌ম-এর জলীয় অংশ, যার মধ্যে নানাপ্রকার জৈব- ও অজৈব-পদার্থ দ্রবীভূত (dissolved) অথবা সাস্‌পেন্ডেড (suspended বা প্রলম্বিত) অবস্থায় থাকে।

সাইটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে সূত্রবৎ (filamentous) অথবা রড্‌-এর আকারের (rod-like) কতকগুলি অংশ দেখা যায়, সেগুলি মাইটোকন্‌ড্রিয়া (mitochondria) বা কন্‌ড্রিওসোম (chondriosome) নামে পরিচিত (৫নং চিত্র)। এগুলি দৈর্ঘ্যে সাধারণত ৩—৫ মাইক্রা এবং প্রস্থে ০·২—২·০ মাইক্রা হয়ে থাকে। প্রতিটি মাইটোকন্‌ড্রিয়ন দু'টি করে মেমব্রেন (membrane বা ঝিল্লী) দ্বারা গঠিত। ভিতরের মেমব্রেনটি থেকে কতকগুলি উদ্গত-অংশ কেন্দ্রের দিকে ঝুলে থাকে, তাদের বলা হয় ক্রিস্টি (cristae)। সেলের বিভিন্ন কাজের জন্য যে শক্তির প্রয়োজন হয়, তা' মাইটোকন্‌ড্রিয়া থেকে পাওয়া যায়। মাইটোকন্‌ড্রিয়াকে সেইকারণে কোষের 'শক্তির উৎসস্থল' (power-house) বলা হয়ে থাকে।

কোষস্থ যে অঙ্গটিকে নিয়ে অতীতে অনেক বিতর্কের সৃষ্টি হয়েছিল, সেটি হচ্ছে গল্‌গি (Golgi) [ ৫নং চিত্র ]। সেক্রিটরি বা রস-ক্ষরণকারী কোষসমূহে (secretory cells) এদের পরিপূর্ণ বিকাশ লক্ষ্য করা যায়। ১৮৯৮ সালে ক্যামিলো গল্‌গি (Camilo Golgi) নামে একজন ইতালী-

দেশীয় বিজ্ঞানী এদের সূত্রবৎ বস্তুর দ্বারা গঠিত এবং জালের ন্যায় দেখতে বলে বর্ণনা করেন। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে দেখা গেছে যে এরা ছোট-বড় কতকগুলি গহ্বরের সমন্বয়ে গঠিত। ঐ গহ্বরগুলির আবরণী প্লাজ্‌মা-পর্দা, এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম এবং মাইটোকন্‌ড্রিয়ার মেমব্রেনের ন্যায় লিপিড ও প্রোটীন দ্বারাই গঠিত। গল্‌গি সেলের সেক্রিটরি পদার্থসমূহ থেকে অতিরিক্ত জলকে নিষ্কাশন করে 'সেক্রিটরি গ্র্যানিউল্‌স্‌'এ (secretory granules) পরিণত করে।

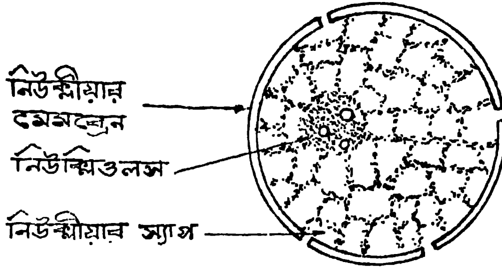
বহু সেলে লাইসোসোম (lysosome) নামে প্রায় গোলাকার কতকগুলি অঙ্গের উপস্থিতি লক্ষ্য করা যায় (৫নং চিত্র)। এরা রাইবোসোম-এর চেয়ে আকারে বড়। এদের ব্যাস সাধারণত ০·২৫–০·৮ মাইক্রন্‌ হয়ে থাকে। এরা নানা প্রকার এনজাইম-এর (enzymes) এক-একটি ক্ষুদ্র থলিবিশেষ। সেলের ভিতরের এবং সময়ে-সময়ে সেলের বাইরের বিভিন্ন বস্তুর পরিপাকক্রিয়া এদের দ্বারা সাধিত হয়। সেইকারণে এদের সেলের 'ডাইজেসটিভ বডি'-রূপে (digestive body বা পাচন অঙ্গ) বর্ণনা করা হয়ে থাকে।

অধিকাংশ প্রাণিকোষে সাইটোপ্লাজ্‌মের আর একটি অঙ্গ হচ্ছে, সেন্ট্রিওল (centriole)। সেলের বা কোষের এক মেরুতে, নিউক্লীয়-পর্দার (nuclear membrane) বাইরের দিকে একটি গোলাকার অঞ্চল দেখা যায়, যেখানকার সাইটোপ্লাজ্‌মটি দানাবিহীন। ঐ অঞ্চলটির নাম সেন্ট্রোসোম (centrosome)। ঐ সেন্ট্রোসোমের মাঝখানে একটি বা দুটি বিন্দুরূপে সেণ্ট্রিওলগুলি অবস্থিত থাকে। কোষ-বিভাজনের (cell division) সময় এরা গুরুত্বপূর্ণ কার্য সমাধা করে।

কোন-কোন এককোষী প্রাণিদেহে, যেমন প্যারামিসিয়ম (*Paramaecium*), ইউগ্লিনা (*Euglena*) ইত্যাদি প্রাণীর প্লাজ্‌মা-পর্দার অব্যবহিত ভিতরের দিকে সেণ্টিওল-এর অনুরূপ কতকগুলি অঙ্গ দেখা যায় যাদের বলা হয় কাইনেটোসোম (kinetosome) বা বেসাল বডি (basal body)। কাইনেটোসোম থেকে সিলিয়া (cilia) ও ফ্ল্যাজেলা (flagella) সৃষ্টি হয়। সিলিয়া দেখতে ছোট-ছোট চুলের মত এবং ফ্ল্যাজেলা দেখতে লম্বা লেজের ন্যায়।

প্রতিটি কোষের ভিতর যে গোলাকার অংশটি প্রথম দৃষ্টিতেই সুস্পষ্ট রূপে প্রতিভাত হয়, সেটি হচ্ছে নিউক্লিয়স (nucleus)। একটি পর্দা নিউক্লিয়সের ভিতরের বস্তুসমূহকে সন্নিকটস্থ সাইটোপ্লাজ্‌ম থেকে পৃথক্‌ করে রাখে—ঐ পর্দাটির নাম নিউক্লিয়ার মেমব্রেন (nuclear membrane

বা নিউক্লীয় পর্দা) [৭নং চিত্র]। নিউক্লিয়সটির বেশীর ভাগ অংশ একটি সমসত্ত্বীয় (homogeneous) পদার্থে পূর্ণ থাকে, তাকে নিউক্লিয়ার স্যাপ (nuclear sap or karyolymph বা নিউক্লীয় রস) বলা হয়।

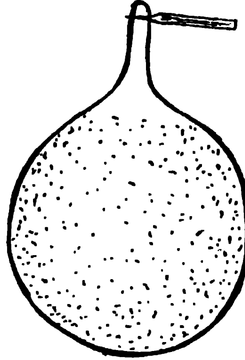



৭ নং চিত্র :—একটি নিউক্লিয়স।

নিউক্লিয়াসের একটি অপরিহার্য উপাদান হচ্ছে ক্রোমোসোম (Chromosomes)—এরা 'বংশগতবৈশিষ্ট্যাবলীর বাহক'। কোষের যখন বিভাজন হয় না, সে-সময়ে নিউক্লিয়সের মধ্যে ক্রোমোসোমগুলি খুব লম্বা ও সরু সুতোর মত পরস্পর এমন ভাবে জড়িয়ে থাকে যে তাদের পৃথক্-পৃথক্ ভাবে চিহ্নিত করা যায় না। এই সময়ে এক বা একাধিক গোলাকার অংশও নিউক্লিয়সের ভিতরে দেখা যায়, তারা নিউক্লিওলস (nucleolus) নামে পরিচিত (৭নং চিত্র)। কোষ-বিভাজনের সময় প্রতিটি ক্রোমোসোম কুণ্ডলীকৃত (coiled) হওয়ার ফলে আকারে বেশ ছোট হয়ে পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়ে যায়। এই সময় তাদের নিজস্ব সত্তা প্রকাশ পায়। ক্রোমোসোমের মধ্যে অপেক্ষাকৃত অধিক পরিমাণে ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড (deoxyribonucleic acid) থাকে, অপরপক্ষে নিউক্লিওলসের মধ্যে অধিক পরিমাণে থাকে রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড (ribonucleic acid)

নিউক্লিয়স কোষের একটি অপরিহার্য অঙ্গ। এটি কোষের সমুদয় কার্যকে নিয়ন্ত্রণ করে; সেই কারণে একে 'কোষের মস্তিষ্ক' (brain) বা 'প্রধান কর্মক্ষেত্র' (headquarter) বলা যেতে পারে। কোষ থেকে নিউক্লিয়সকে অপসারিত করলে সাইটোপ্লাজ্‌মের মৃত্যু ঘটে, আবার নিউক্লিয়স-ও সাইটোপ্লাজ্‌ম ব্যতিরেকে বাঁচতে পারে না—অর্থাৎ, উভয়েই উভয়ের উপর নির্ভরশীল।

এবং কাঙ্ক্ষিত আরও কতকগুলি বৈশিষ্ট্যের জন্য একাইনোডার্ম প্রাণিদের (echinoderms বা কণ্টকত্বকী প্রাণী) ডিমকে এই কাজে এবং সেলবিদ্যা-সম্পর্কিত আরও নানাপ্রকার গবেষণার কাজে লাগানো হয়। এই ডিমের বাইরের দিকের কয়েকটি আচ্ছাদনকে অপসারণ করার পর ডিমের



৮ নং চিত্র :—তারা মাছের (star fish) ডিমের পৃষ্ঠাবরণীকে ডিমের গা' থেকে মাইক্রোনীড্‌লের সাহায্যে টেনে তোলা হয়েছে।

প্রোটোপ্লাজ্‌মের পৃষ্ঠাবরণী (surface film) অনাবৃত হয়। এই আবরণীকে ডিমের গা' থেকে ৮নং চিত্রে যেভাবে দেখানো হয়েছে সেইভাবে, একটি সূক্ষ্ম সুতোর মত টেনে এনে পুনরায় ছেড়ে দিলে দেখা যায় যে তা' আবার আগের জায়গায় ফিরে যায়। শুধু তাই নয়, তা' ডিমের সঙ্গে নিখুঁতভাবে মিলে যায়। এই কাজে যদি কোনওক্রমে খুব অল্প পরিমাণ প্রোটোপ্লাজ্‌ম বিচ্ছিন্ন হয়ে পড়ে, তবে তা' সঙ্গে-সঙ্গে সূক্ষ্ম-সূক্ষ্ম কণিকায় রূপান্তরিত হয়। এই পরীক্ষা এবং আরও নানাপ্রকারের পরীক্ষার দ্বারা এটি স্পষ্ট হয়েছে যে, প্রোটোপ্লাজ্‌মের পৃষ্ঠাবরণীটি বেশ ইল্যাস্টিক বা স্থিতিস্থাপক। এটি সঙ্কোচনের (shrinkage) সময়ে কুঞ্চিত (wrinkled) হয় না, আবার প্রসারণের সময়ে এর সারফেস টেন্‌সন-এরও (surface tension বা পৃষ্ঠ-টান) বৃদ্ধি ঘটে না এবং অতি অল্প পরিমাণে ছিন্ন হ'লে শীঘ্রই ভিতর থেকে এর পুনর্নবীকরণ (renewal) হয়।

সেলের কোন-কোন আচরণ প্রোটোপ্লাজ্‌মের 'ভিস্‌কসিটি' বা 'আঠাল ভাবের' উপর অনেকাংশে নির্ভরশীল। বহু সেলে দেখা তিনটি সুবিদিত

ঘটমান বিষয় (phenomenon) যথা, ব্রাউনীয় বিচলন[১] (Brownian movement), অ্যামিবা-সদৃশ বিচলন (Amoeboid movement) এবং সাইক্লোসিস (cyclosis বা আবর্তন) প্রোটোপ্লাজ্‌মের ভিস্‌কসিটির সঙ্গে কোনও-না-কোনভাবে সম্পর্কযুক্ত।

উত্তাপ বৃদ্ধির ফলে 'ব্রাউনীয় বিচলন' বৃদ্ধি পায় এবং প্রোটোপ্লাজ্‌মের ভিস্‌কসিটি বা আঠাল ভাবও হ্রাস পায়। অন্যভাবে বলা যেতে পারে যে, অধিক আঠাল-ভাব দ্বারা প্রোটোপ্লাজ্‌মের আরও অধিক 'জেল' (gel)-রূপী দশা এবং স্বল্প আঠাল-ভাব দ্বারা আরও অধিক 'সল' (sol)-রূপী দশাকে বোঝায়।

অ্যামিবা এবং কোন-কোন রক্তকণিকায় যে 'অ্যামিবাসদৃশ বিচলন' দেখা যায়, তা প্রোটোপ্লাজ্‌মের ক্রমাগত 'জেল'-দশা থেকে 'সল'-দশায় এবং 'সল'-দশা থেকে 'জেল'-দশায় রূপান্তরের ফলে হয়ে থাকে। আবার প্রোটোপ্লাজ্‌মের ভিস্‌কসিটিও এই ধরণের পরিবর্তনের উপর নির্ভরশীল।

সাইটোপ্লাজ্‌মের 'সাইক্লোসিস'-এর কারণ সঠিকভাবে বোঝা না গেলেও এটা প্রমাণিত হয়েছে যে, আঠাল ভাব হ্রাস পেলে সাইক্লোসিস বৃদ্ধি পায়।

প্রোটোপ্লাজ্‌মের কোহেসিভনেস বা সংযোজিকা শক্তি (cohesiveness) 'ভ্যান-ডার-ওয়ালের বন্ধন' (Van-dar-Waal's bonds)-জাতীয় শক্তির জন্য; যে-শক্তি বড়-বড় অণুকে শৃঙ্খলিত করে রাখে। এই শক্তির হ্রাস-বৃদ্ধির সাথে সংযোজিকা-শক্তিরও হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে।

সঙ্কোচনশীলতা (contractility) প্রোটোপ্লাজ্‌মের একটি গুরুত্বপূর্ণ ভৌত ধর্ম। প্রোটোপ্লাজ্‌মের সঙ্কোচন ও প্রসারণের কারণকে সরল বা অবক্র (linear) প্রোটীন অণুর ভাঁজ পড়া ও ঐ ভাঁজ খোলার উপর আরোপ করা হয়ে থাকে।

হায়ালোপ্লাজ্‌ম প্রধানত একটি 'কোলয়েড-রূপী ব্যবস্থা' (colloidal system)। এর মধ্যে থাকে প্রচুর পরিমাণে জল এবং বিভিন্ন আকারের নানা ধরণের বস্তুকণিকা। কতকগুলি বস্তু এর মধ্যে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে এবং কতকগুলি থাকে সাস্‌পেণ্ডেড (suspended বা প্রলম্বিত) অবস্থায়।

১ বিভিন্ন বস্তুকণার অপেক্ষাকৃত দ্রুত আঁকাবাঁকাভাবে আন্দোলিত হওয়াকে 'ব্রাউনীয় বিচলন' বলে। একটি বস্তু বা অণু অপর আর একটি বস্তু বা অণুর উপর আঘাত করে এবং এই ক্রিয়া ক্রমান্বয়ে চলার ফলে বস্তুকণাগুলি উপরি-উক্তভাবে আন্দোলিত হতে থাকে। এই বিচলনের পরিমাণ বস্তুকণার আকার এবং সাসপেনসন-এর (suspension বা অবলম্বন) আঠালভাবের উপর নির্ভরশীল।

যে জৈব-পদার্থটি হায়ালোপ্লাজ্‌মের মধ্যে সর্বোচ্চ পরিমাণে পাওয়া যায় সেটি হচ্ছে প্রোটীন। অনেকগুলি প্রোটীন এবং কিছু কার্বোহাইড্রেট 'হাইড্রোফিলিক' (hydrophilic বা জলপ্রেমী) অর্থাৎ, জল পছন্দ করে। এই সকল প্রোটীন ও কার্বোহাইড্রেট-এর অণু জলের আস্তরণ দ্বারা ঘেরা থাকে। উভয় দ্রব্যের (জল ও প্রোটীন, অথবা জল ও কার্বোহাইড্রেট) এই ঘনিষ্ঠতা পারস্পরিক সম্পর্কযুক্ত অর্থাৎ প্রোটীন-অণুর বৈদ্যুতিক-শক্তি জলের অণুর বৈদ্যুতিক-শক্তিকে আকর্ষণ করে, ফলে উভয়ে উভয়কে একটি বিশেষ প্রণালীতে ধরে রাখে। 'হায়ালোপ্লাজ্‌ম-এর মধ্যে অন্যান্য বস্তুর উপস্থিতি কোষের মেটাবলিক (metabolic বা বিপাকীয়) অবস্থার উপর নির্ভরশীল। এইসব বস্তুর মধ্যে স্নেহ-জাতীয় পদার্থ (fats), স্টার্চ গ্রেন্‌স্‌ বা শ্বেতসার কণিকা ও বিভিন্ন পিগ্‌মেণ্ট-কে (pigments বা রঞ্জক পদার্থ) যেমন, প্রাণিকোষে মেলানিন (melanin) এবং উদ্ভিদ্‌কোষে ক্যারটিনয়েড-কে (carotenoid), ধরা যেতে পারে।

## কেমিক্যাল প্রপার্টিজ্‌

## (Chemical properties বা রাসায়নিক ধর্ম)

প্রোটোপ্লাজ্‌ম-এর রাসায়নিক গঠন সঠিকভাবে নিরূপণ করা খুবই অসুবিধাজনক, কেননা, প্রোটোপ্লাজ্‌মের সঙ্গে সর্বদাই প্রোটোপ্লাজ্‌ম থেকে তৈরী কিছু-কিছু পদার্থ মিশে থাকে, যাদের পরিমাণ বিভিন্ন টিসুতে (tissues বা কলা) এবং সেল-এর বিভিন্ন দশায় কম-বেশী হতে পারে। তদুপরি, বিভিন্ন রিএজেণ্টের (reagents বা বিকারক) প্রতি এর অতি-সংবেদনশীলতা (high sensitivity) এবং মৃত্যুর পর এর গঠনের বহুল পরিবর্তন, এর রাসায়নিক-বিশ্লেষণের সমস্যাকে আরও জটিল করে তুলেছে। তথাপি এর গঠন সম্পর্কে একটি সাধারণ ধারণা লাভ করা সম্ভব এবং বিশ্লেষণ-প্রণালীর আরও উন্নতির সাথে-সাথে এর সম্পর্কে সুস্পষ্ট জ্ঞান লাভ করা সম্ভব হবে। সাধারণভাবে দেখা গেছে যে, প্রোটোপ্লাজ্‌ম সক্রিয় অবস্থায় শতকরা ৭৫ ভাগ জল এবং অবশিষ্টভাগ অন্যান্য বস্তু দ্বারা গঠিত থাকে। ঐ অবশিষ্ট অংশের মধ্যে আবার আনুমানিক ৯০ ভাগ থাকে জৈব-পদার্থ (প্রোটীন, শ্বেতসার ও শর্করা এবং স্নেহ-পদার্থ) এবং ১০ ভাগ অজৈব-পদার্থ।

প্রোটোপ্লাজ্‌মের প্রধান রাসায়নিক উপাংশ (component) হচ্ছে জল। এই জল প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে বিভিন্ন বস্তুকে ধারণ করে রাখার মাধ্যম

(medium)। এটি মুক্ত অবস্থায় সাধারণ জল রূপেই অবস্থান করতে পারে অথবা এটি প্রোটীন ও কার্বোহাইড্রেট-এর সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় থাকতে পারে। এই জল সল্‌ভেন্ট (solvent বা দ্রাবক) রূপে, আবার যে-সকল পদার্থের মধ্যে কেমিক্যাল রিঅ্যাক্‌শন (chemical reaction বা রাসায়নিক বিক্রিয়া) ঘটে তাদের বাহক রূপেও কাজ করে। তদুপরি, এটি কেমিক্যাল রিঅ্যাক্‌শন-এর একটি মাধ্যম; শুধু তাই নয়, এটি নিজেও 'হাইড্রলিসিস' (hydrolysis বা আর্দ্র-বিশ্লেষ) অথবা 'ডিহাইড্রেশন' (dehydration বা নিরুদন) প্রক্রিয়ার দ্বারা কেমিক্যাল রিঅ্যাক্‌শনে অংশগ্রহণ করে। এইরূপে সেল-এর মেটাবলিক বা বিপাকীয় ক্রিয়ায় এটি একটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ নিয়ে থাকে। নিউক্লীয়ার স্যাপ, হায়ালোপ্লাজ্‌ম এবং কোষ-গহ্বরের (vacuoles) মধ্যে সাধারণত এটিকে পাওয়া যায়।

প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে যে জৈব-পদার্থটি প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায় তা' হচ্ছে প্রোটীন। এটি নানাপ্রকারের হতে পারে। 'অ্যামিনো অ্যাসিড' (amino acids) দ্বারা এটি গঠিত। এই অ্যামিনো অ্যাসিড আবার কার্বন (carbon), হাইড্রোজেন (hydrogen), অক্সিজেন (oxygen) ও নাইট্রোজেন-এর (nitrogen) এবং কখনও-কখনও সালফার (sulphur) ও ফস্‌ফরাস-এর (phosphorus) পরমাণুর সুনির্দিষ্ট সংগঠনের মাধ্যমে তৈরী হয়। সেলের প্রায় সর্বত্রই কোন-না-কোন প্রকারের প্রোটীন পাওয়া যায়। হায়ালোপ্লাজ্‌মস্থিত কোন-কোন প্রোটীন 'প্রোটোপ্লাজমীয় জেল'-এর মুখ্য উপাদান। 'গ্লোবিউলিন' (globulin)-জাতীয় প্রোটীন, যা' জলে দ্রবীভূত হয় না, এই গোষ্ঠীভুক্ত। অপরাপর সরল কাঠামোযুক্ত প্রোটীন-গুলিকে নিউক্লিয়স-এর মধ্যে পাওয়া যায়, যেমন, 'হিস্টোন' (histone) নামক প্রোটীন ক্রোমোসোম-এর গঠন ও কাজের জন্য এরা খুবই প্রয়োজনীয় উপাদান। কতকগুলি প্রোটীন খুবই জটিল ধরণের, কেননা এরা প্রোটীন ও অপর আর একটি বস্তুর সমন্বয়ে গঠিত। এইসব জটিল প্রোটীনকে 'কন্‌জুগেটেড প্রোটীন' (conjugated protein) বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ, নিউক্লিয়স ও সাইটোপ্লাজ্‌ম-মধ্যস্থ নিউক্লীওপ্রোটীন (যা' 'নিউক্লীক অ্যাসিড' ও 'প্রোটীন'-এর সমন্বয়ে গঠিত), সাইটোপ্লাজ্‌মের অর্গ্যানেলগুলির মেমব্রেনসমূহে অবস্থিত লাইপোপ্রোটীন (যা' 'লিপিড' ও 'প্রোটীন'-এর সমন্বয়ে গঠিত), ক্রোমোপ্রোটীন (যা' 'প্রোটীন' এবং লোহা, তামা, ম্যাংগানীজ ও ম্যাগ্‌নীশিয়াম প্রভৃতি যে-কোন ধাতুর কতকগুলি আয়ন-এর [ ions ] সমন্বয়ে তৈরী) এবং বহু এনজাইম-এর (enzymes) নাম করা যেতে পারে।

২

প্রোটোপ্লাজ্‌মে অবস্থিত কার্বোহাইড্রেট (carbohydrates) কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন-এর সমন্বয়ে গঠিত। সেলের পক্ষে এটি একটি খুবই প্রয়োজনীয় উপাদান। কেননা, সেল নিজ জীবন-ধারণের জন্য প্রয়োজনীয় 'শক্তি' এ থেকেই পায়। তদুপরি কোষের গঠনের বুনিয়াদও খানিকটা এরা রচনা করে, বিশেষত উদ্ভিদ্‌-কোষের কোষপ্রাচীরে 'সেলুলোজ' (cellulose) উপাদান রূপে। 'পেন্টোজ'১-জাতীয় (pentose) কার্বোহাইড্রেট ক্রোমোসোম-এর মুখ্য উপাদানগুলির মধ্যে একটি। 'হেক্সোজ'২-জাতীয় (hexose) কার্বোহাইড্রেট সাধারণত সঞ্চিত খাদ্যবস্তুরূপে প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে থাকে—যথা, গ্লুকোজ (glucose), গ্যালাক্‌টোজ (galactose) এবং উদ্ভিদ্‌-কোষের স্টার্চ (starch) ও প্রাণি-কোষের গ্লাইকোজেন (glycogen)। 'পেন্টোজ' ছাড়া অন্য কোন কার্বোহাইড্রেট প্রোটোপ্লাজ্‌মের গঠনে সরাসরি অংশ গ্রহণ করে না, কিন্তু শক্তির উৎস হিসেবে কাজ করে।

স্নেহ-পদার্থগুলি (fats and oils) প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে নানারূপে অবস্থান করে। যদিও কোন একটি বিশেষ স্নেহ-পদার্থের কতটা পরিমাণ প্রোটোপ্লাজ্‌মের সত্যিকার উপাদান এবং কতটা পরিমাণ প্রোটোপ্লাজ্‌ম থেকে উৎপাদিত বস্তু তা' বলা সম্ভব না হলেও, এটা নিঃসন্দেহে বলা যেতে পারে যে কোন-কোন স্নেহ-পদার্থ, বিশেষত 'ফস্‌ফোলিপিড'-সমূহ (phospholipids), প্রোটোপ্লাজ্‌মের মূল-উপাদানগুলির অন্যতম। বিশুদ্ধ স্নেহ-পদার্থগুলি কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন-এর সমন্বয়ে গঠিত। সঞ্চিত খাদ্যবস্তু হিসেবে এগুলি খুবই গুরুত্বপূর্ণ এবং 'স্টেরল' (sterols) ও মোম-জাতীয় (waxes) পদার্থের সঙ্গে একত্রে এরা সেলের গাত্র-পর্দাগুলি থেকে জল অপচয় নিবারণে সহায়তা করে। স্নেহ-পদার্থগুলির কিছুটা পরিমাণ শুধুই স্নেহ-পদার্থরূপে, অর্থাৎ মুক্ত (free) স্নেহ-পদার্থরূপে, প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে থাকে; কিন্তু এর অধিকাংশ ভাগই প্রোটীনের সঙ্গে নানাধরণের সংযোগ সাধন করে অবস্থান করে।

নাইট্রোজেন-যুক্ত স্নেহ-পদার্থগুলি, যাদের সঙ্গে ফস্‌ফরাস থাকতেও পারে আবার না-ও থাকতে পারে, 'লিপিড' (lipid) নামে পরিচিত। 'ফস্‌ফোলিপিড'-গুলি প্লাজ্‌মা-পর্দার গঠনে, কাজকর্মে এবং তার পার্মিয়েবিলিটি (permeability বা ভেদ্যতা) নির্ধারণে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ

১ যেসব কার্বোহাইড্রেটে ৫টি কার্বন-পরমাণু থাকে, যেমন, 'রাইবোজ' (Ribose—$C_5 H_{10} O_5$)।

২ যেসব কার্বোহাইড্রেটে ৬টি কার্বন-পরমাণু থাকে, যেমন, 'গ্লুকোজ' (Glucose—$C_6 H_{12} O_6$)।

করার ফলে সেল-বিজ্ঞানীদের বিশেষ মনোযোগ আকর্ষণ করেছে। এণ্ডোপ্লাজ্মিক রেটিকিউলাম, মাইটোকনড্রিয়া, গল্গি ইত্যাদিতেও এদের পাওয়া যায়।

প্রোটোপ্লাজ্মের মধ্যে নানা ধরণের অজৈব-লবণ (inorganic salts) পাওয়া যায়, যদিও তাদের পরিমাণ অতি অল্প। তারা অংশত 'মুক্ত জল'-এর মধ্যে এবং অংশত 'আয়ন' (ions) হিসেবে প্রোটোপ্লাজ্মের অন্যান্য জৈব-উপাদানের সঙ্গে যুক্ত হয়ে থাকে। ৪০টি বা তারও বেশী আবশ্যকীয় মৌলিক-পদার্থের (elements) অনেকগুলিকেই এদের মধ্যে পাওয়া যায়। এই মৌলিক-পদার্থগুলির মধ্যে কয়েকটি থাকে অতি অল্প পরিমাণে এবং কেবলমাত্র অতি-সংবেদনশীল বিশ্লেষণী প্রক্রিয়ার (highly sensitive analytical process) মাধ্যমেই তাদের উপস্থিতি নির্ণয় করা সম্ভব। কোন-কোন ক্ষেত্রে তাদের কন্সেনট্রেশান্-এর (concentration বা গাঢ়ীভবন) অনুপাত অতি গুরুত্বপূর্ণ। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, সোডিয়াম (sodium) প্রোটোপ্লাজ্মের ভিস্কসিটি বা আঠাল-ভাবের হ্রাস ঘটায়, কিন্তু পর্দাসমূহের (membranes) পার্মিয়েবিলিটি-র বা ভেদ্যতার বৃদ্ধি ঘটায়। অপরপক্ষে, ক্যাল্সিয়াম (calcium) ঠিক এর বিপরীত-ক্রিয়া সম্পন্ন করে, যদিও পর্দাসমূহের গঠনে এটি প্রয়োজনীয়। প্রোটোপ্লাজ্মের সংঘটনে (organization) এবং তার মেটাবলিক-ক্রিয়ায় কতকগুলি আয়ন-এর বিশেষ গুরুত্ব আছে। এদের মধ্যে সবচেয়ে উল্লেখ-যোগ্য হচ্ছে, ফস্ফেট-গোষ্ঠী ($PO_4$), যারা 'ফস্ফোপ্রোটীন' (phospho-protein), 'ফস্ফোলিপিড' (phospholipid) এবং 'নিউক্লিওটাইড'-গুলির (nucleotides) সঙ্গে সংযুক্ত থাকে। কোষের প্রয়োজনীয় 'শক্তি'-র একটি প্রধান উৎস হচ্ছে 'অ্যাডিনোসিন ট্রাইফস্ফেট' (adenosine triphosphate) নামে যৌগিক পদার্থটি, যার মধ্যে ফস্ফেট-গোষ্ঠীর সং-যোগ স্থলগুলি উচ্চ-শক্তির কেন্দ্রবিন্দু। প্রোটোপ্লাজ্মের আর একটি গুরুত্ব-উপাদান হচ্ছে সালফার বা গন্ধক। এটি কতকগুলি জৈব-যৌগিক পদার্থ (organic compounds) যেমন, 'অ্যামিনো অ্যাসিড'-সমূহের, অতএব এনজাইমগুলিরও [ যেহেতু প্রতিটি এনজাইম কতকগুলি অ্যামিনো অ্যাসিড দ্বারা গঠিত ] সংঘটনে (orgnization) বিশেষ প্রয়োজনীয়। কোষ-বিভাজনের সময় স্পিণ্ড্ল-যন্ত্র (spindle apparatus) গঠনেও সালফার অংশ গ্রহণ করে। আবার, ম্যাংগানীজ (manganese), ম্যাগ্নীশিয়াম (mangnesium) প্রভৃতি অজৈব-পদার্থের আয়ন-সমূহ কতকগুলি এনজাইম-এর কার্য-সম্পাদনে 'সহযোগী' (cofactor) হিসাবে কাজ করে।

নিউক্লিয়সের মধ্যে, আরও সঠিকভাবে বলতে গেলে, ক্রোমোসোম-এর মধ্যে যে লৌহ, ক্যালসিয়াম ও ম্যাগ্‌নীশিয়াম পাওয়া যায় তা' প্রমাণিত হয়েছে।

নিউক্লিয়স এবং সাইটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে প্রাপ্ত বস্তুসমষ্টির মধ্যে নিউক্লীক অ্যাসিড-গুলি (nucleic acids) বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ। নিউক্লিয়সের মধ্যে তারা ক্রোমোসোম-এর সঙ্গে যুক্ত থাকে এবং নিউক্লিয়স থেকে সাইটোপ্লাজ্‌মে বার্তা পরিবহণের কাজ সম্পন্ন করে। সাইটোপ্লাজ্‌মে তারা অ্যামিনো অ্যাসিড-এর সংযোজনের দ্বারা (combining) 'প্রোটীন সিন্থেসিস'-এ ঘনিষ্ঠভাবে লিপ্ত থাকে। প্রোটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে দু'প্রকারের নিউক্লীক অ্যাসিড পাওয়া যায়, যথা, রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড (ribonucleic acid বা RNA) এবং ডি-অক্সিরাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড (deoxyribonucleic acid বা DNA)।

## বায়োলজিক্যাল প্রপার্টিজ্‌

(Biological properties বা জীবন-সংক্রান্ত ধর্ম)

সজীব বস্তুর গঠন সাধারণত নির্জীব পদার্থের তুলনায় অধিকতর জটিল। সে যা হোক, প্রোটোপ্লাজ্‌ম-এর এমন কতকগুলি বৈশিষ্ট্য আছে যে নির্জীব পদার্থসমূহের ফিজিক্যাল প্রপার্টিজ্‌ বা ভৌত ধর্ম ও রাসায়নিক ক্রিয়া-কলাপের সঙ্গে তাদের কোন তুলনা চলে না। প্রোটোপ্লাজ্‌মের এই বৈশিষ্ট্যগুলি হচ্ছে তার মেটাবলিজ্‌ম্‌ (metabolism বা বিপাকীয় ক্রিয়া), বৃদ্ধি (growth), ইরিট্যাবিলিটি (irritability বা উত্তেজিতা) এবং বংশবিস্তার-এর (reproduction) ক্ষমতা।

সজীব প্রোটোপ্লাজ্‌মের ভিতর অবিরত নানাপ্রকারের রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটতে থাকে। এইসব ক্রিয়াকে একসাথে বলা হয় প্রোটোপ্লাজ্‌ম-এর মেটাবলিজ্‌ম্‌ বা বিপাকীয় ক্রিয়া (metabolism)। এই বিপাকীয় ক্রিয়াগুলি দু'ধরণের অ্যানাবলিজ্‌ম্‌ (anabolism বা উপচিতি) এবং ক্যাটাবলিজ্‌ম্‌ (katabolism বা অপচিতি)। প্রথমোক্ত ধরণের ক্রিয়ার ফলে প্রোটোপ্লাজ্‌ম নতুন-নতুন পদার্থ লাভ করে এবং 'পটেনশিয়াল এনার্‌জী (potential energy বা স্থৈতিক শক্তি) উপার্জন করে। শেষোক্ত ধরণের ক্রিয়ার ফলে প্রোটোপ্লাজ্‌মস্থিত বিভিন্ন পদার্থের বিনাশ ঘটে এবং পটেনশিয়াল এনার্‌জী 'কাইনেটিক এনার্‌জীতে (kinetic energy বা গতীয় শক্তি) রূপান্তরিত হয়। নিউট্রিশান (nutrition বা পোষণ), সেক্রিশান (secretion বা ক্ষরণ) ইত্যাদি হচ্ছে প্রোটোপ্লাজ্‌মের

অ্যানাবলিক ক্রিয়া এবং রেস্‌পিরেশান (respiration বা শ্বসন) হচ্ছে একটি ক্যাটাবলিক ক্রিয়া। এই ক্রিয়াগুলি বন্ধ হলে প্রোটোপ্লাজ্‌মের জীবন-দীপ নির্বাপিত হয়, অর্থাৎ এই ক্রিয়াগুলি হচ্ছে প্রোটোপ্লাজ্‌মের জীবনসংক্রান্ত ক্রিয়া।

প্রোটোপ্লাজ্‌মের বায়োলজিক্যাল বা জীবনসংক্রান্ত বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্যে একটি হচ্ছে, বৃদ্ধি (growth)। অ্যানাবলিজ্‌ম্‌ বা উপচিতি যখন ক্যাটাবলিজ্‌ম্‌ বা অপচিতির তুলনায় অধিক মাত্রায় হয় তখন বৃদ্ধি ঘটে। নির্জীব-পদার্থেরও অনেকসময় বৃদ্ধি ঘটে থাকে, যেমন একটি চিনির পিণ্ডকে চিনির ঘন দ্রবণের (solution) মধ্যে রেখে দিলে পিণ্ডটির বৃদ্ধি ঘটে। চিনির পিণ্ডের এই বৃদ্ধির সঙ্গে প্রোটোপ্লাজ্‌মের বৃদ্ধির পার্থক্য আছে। নির্জীব পদার্থ (যেমন, চিনির পিণ্ড) যে বস্তুতে গঠিত সেইসব বস্তু পদার্থটির বাইরের গায়ে জমা হওয়ার ফলে তার বৃদ্ধি ঘটে। অপরপক্ষে, প্রোটোপ্লাজ্‌ম ভিন্ন ধরণের পদার্থ গ্রহণ করে তাদের নিজের রূপে পরিবর্তিত করে এবং নিজ-দেহে অবস্থিত বস্তু-কণিকার ফাঁকে-ফাঁকে নতুন তৈরী বস্তু-কণিকাগুলির সংযোজনে তার বৃদ্ধি ঘটে, অর্থাৎ, এই বৃদ্ধি ভিতর থেকে ঘটে থাকে। এই ধরণের 'বৃদ্ধি' সজীব পদার্থের বৈশিষ্ট্য।

প্রোটোপ্লাজ্‌মের আর একটি জীবন-সংক্রান্ত ধর্ম হচ্ছে, তার ইরিট্যাবিলিটি (irritability বা উত্তেজিতা)। বিভিন্ন উদ্দীপনায় (stimuli) এর মধ্যে নানারকম প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয়। দৃষ্টান্তস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, উত্তাপ, শক্তিশালী রাসায়নিক পদার্থসমূহ, বিদ্যুৎপ্রবাহ (electric current) ইত্যাদির প্রভাবে প্রোটোপ্লাজ্‌মের সঙ্কোচন হয় এবং ঐ উদ্দীপক শক্তিগুলিকে (stimulating agents) প্রত্যাহার করলে তা পুনরায় প্রসারিত হয়ে আগের অবস্থায় ফিরে আসে।

প্রোটোপ্লাজ্‌মের জীবন-সংক্রান্ত ধর্মগুলির মধ্যে অন্যতম হচ্ছে, তার বংশবিস্তার-এর ক্ষমতা। পূর্ণতা প্রাপ্ত হওয়ার পর প্রোটোপ্লাজ্‌মের একটি পিণ্ড থেকে দুটি পিণ্ডের সৃষ্টি হয়। জীবনের নিরবচ্ছিন্নতা রক্ষার জন্য এটি একটি অনুপম (unique) প্রক্রিয়া।

# ৩ ॥ কোষসংক্রান্ত গবেষণার কলাকৌশল

## (Cytological methods)

কোষ সম্পর্কে বিস্তারিত জ্ঞানলাভের ব্যাপারে প্রধান প্রধান অন্তরায় হচ্ছে, (১) অধিকাংশ কোষ এবং তাদের ভিতরকার অঙ্গগুলির (organelles) আকারের অতি-ক্ষুদ্রতা, (২) কোষস্থ বস্তুসমূহের স্বচ্ছতা, (৩) কোষের উপাংশগুলির অসমসত্ত্বীয়তা (heterogenity of the cell-components) ইত্যাদি। উপরিউক্ত অসুবিধাগুলি দূর করে কোষ সম্পর্কে সম্যক জ্ঞান-লাভের জন্য নানাপ্রকার কলাকৌশল উদ্ভাবিত হয়েছে। এই অধ্যায়ে ঐ-সমস্ত কলাকৌশলের মধ্যে যেগুলি অধিক গুরুত্বপূর্ণ সেগুলি সম্পর্কে আলোচনা করা হবে।

### অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ব্যবহার

**দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্র** (*Light microscope*) **:**

আমাদের খালি-চোখের (naked eye) 'রিজল্‌ভিং পাওয়ার' (resolving power বা বিশ্লেষণী ক্ষমতা) সীমিত। এই পাওয়ার মাত্র ০·১ মিলিমিটার অর্থাৎ, যদি দু'টি বস্তু ০·১ মিলিমিটারের চেয়েও কাছাকাছি অবস্থান করে তাহলে খালি-চোখে আমাদের কাছে তারা একটি বস্তু বলে প্রতিভাত হবে। আবার, কোন বস্তুর আকার (size) ০·১ মিলিমিটারের কম হলেও তারা খালি-চোখে ধরা পড়বে না। অধিকাংশ কোষের ব্যাস ১ মিলিমিটার থেকে ০·১ মাইক্রন-এর মধ্যে হয়ে থাকে (১ মিলিমিটার =০·০০১ মিলিমিটার)। কোষমধ্যস্থ অঙ্গগুলির (organelles) ব্যাস স্বভাবতই আরও কম। সেই কারণে ঐসকল অঙ্গগুলিকে সনাক্ত করার জন্য এমন যন্ত্রের প্রয়োজন যার 'রিজল্‌ভিং পাওয়ার' খালি-চোখের চেয়ে বেশী এবং যার সাহায্যে অতি ক্ষুদ্র জিনিষকেও আকারে বেশ বড় দেখায়। কোষবিজ্ঞানীরা এই কাজে অণুবীক্ষণ যন্ত্রকে ব্যবহার করে থাকেন। এই যন্ত্র দু'ভাবে কাজ করে। ঘনসন্নিবিষ্ট বস্তুগুলিকে এই যন্ত্র একইসাথে পৃথক্-পৃথক্ ভাবে দেখতে এবং বড় করে দেখতে সাহায্য করে। কিন্তু যন্ত্রটির উক্ত দু'টি কর্মক্ষমতা অসীম নয়—ঐ ক্ষমতার একটি নির্দিষ্ট সীমা আছে। কেননা, যে কোন অণুবীক্ষণ যন্ত্রেরই 'রিজল্‌ভিং পাওয়ার' ঐ যন্ত্রে ব্যবহৃত আলোকের উপর নির্ভরশীল। যন্ত্রে যে আলোক

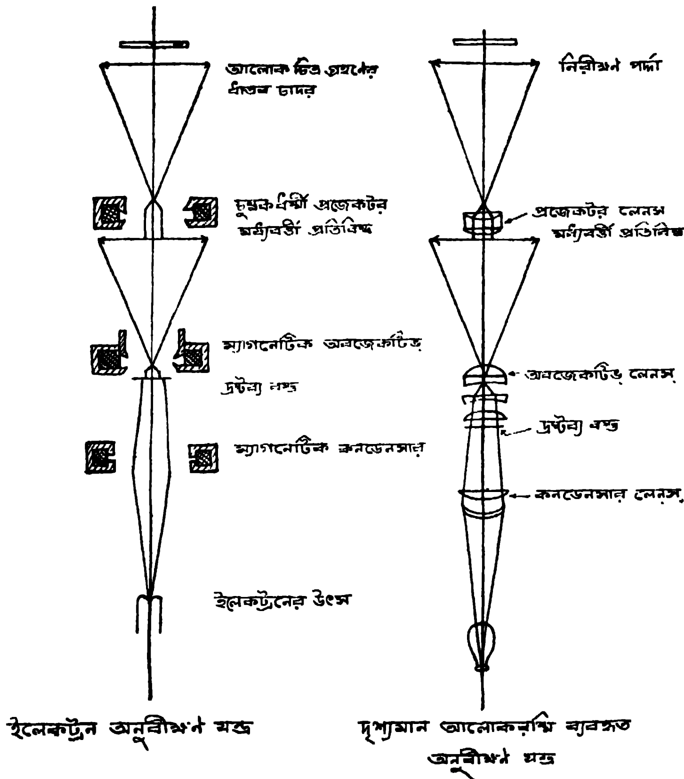
ব্যবহার করা হয়, দুটি বস্তু যদি সেই আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (wave length) অর্ধেকেরও কম দূরত্বে অবস্থান করে তাহলে যন্ত্রে তাদের পৃথক্‌ভাবে সনাক্ত করা যায় না—তারা একটি বস্তু রূপে প্রতিভাত হয়। যেহেতু দৃশ্যমান আলোকের (visible light) তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য হচ্ছে ৫,৫০০ অ্যাংস্ট্রম্‌ (১০,০০০ অ্যাংস্ট্রম্‌=১·০ মাইক্রন=০·০০১ মিলি-মিটার), অতএব 'দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে' ২৭৫০ অ্যাংস্ট্রম্‌ বা ০·২৭৫ মাইক্রন-এর কম ব্যাসযুক্ত বস্তু ধরা পড়ে না। কোষের বহু অংশের আয়তন ০·২৭৫ মাইক্রন-এর কম হওয়ায়, আরও উচ্চ রিজল্‌ভিং পাওয়ারবিশিষ্ট যন্ত্রের অভাবে, কোষের মধ্যে তাদের উপস্থিতির কথা আগে জানা যায় নি।

এ ছাড়া জীবিতাবস্থায় যেহেতু কোষের উপাংশগুলির (components) রিফ্র্যাক্‌টিভ ইনডেক্স্‌ (refractive index বা প্রতিসরাঙ্ক) দৃশ্যমান আলোকের সমান, সেইহেতু ঐ অংশগুলিকে দেখবার উপযোগী করে কৃত্রিমভাবে প্রস্তুত না করলে এই ধরণের অণুবীক্ষণ যন্ত্রে তাদের দেখা সম্ভব হয় না। অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কোষ ও তার অঙ্গগুলিকে (organelles) দেখবার উপযোগী করে প্রস্তুত করবার জন্য নানাপ্রকার পদ্ধতি আছে। সেগুলি সম্পর্কে পরে আলোচনা করা হয়েছে।

**ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র** (*Electron Microscope*) **:**

এই যন্ত্রের আবিষ্কারের ফলে কোষের ভিতর দৃষ্টিনিক্ষেপের একটি অতি শক্তিশালী নতুন হাতিয়ার কোষ-বিজ্ঞানীরা লাভ করেন। এই যন্ত্রে দৃশ্যমান আলোকের পরিবর্তে উচ্চ-বেগসম্পন্ন ইলেকট্রন-কে (electron) আলোক প্রদানের ব্যবস্থা হিসাবে কাজে লাগানো হয়। ইলেকট্রন-এর উৎস হিসাবে ব্যবহার করা হয় একটি 'ক্যাথোড তন্তু'-কে (Cathode filament)। দ্রষ্টব্য বস্তুর মধ্যে দিয়ে ইলেকট্রনগুলি চলার সময় কোষের অধিকতর ঘন অংশগুলি অল্প-ঘন অংশের তুলনায় অধিক পরিমাণে ইলেকট্রনকে বিপথগামী করে (deflect) অথবা শুষে নেয় (absorb), ফলে আলোকচিত্র গ্রহণের জন্য নির্দিষ্ট একটি ইলেকট্রন সুগ্রাহী (electron sensitive) ধাতব-চাদরের উপর ঐ অংশগুলির প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হয়। যেহেতু ইলেকট্রনগুলি দৃশ্যমান নয় (invisible) সেই কারণে এই যন্ত্রে আলোকচিত্র গ্রহণের জন্য উক্ত ধাতব-চাদরের ব্যবস্থা থাকে। এই যন্ত্রের অপ্‌টিক্যাল সিসটেম (optical system) বা দৃষ্টি-সম্বন্ধীয় ব্যবস্থা দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের প্রায় অনুরূপ, পার্থক্য হচ্ছে, কেবলমাত্র উৎসারিত আলোককে কেন্দ্রীভূত করার ব্যবস্থার মধ্যে। এক্ষেত্রে উৎসারিত আলোককে ইলেকট্রোম্যাগ্‌নেটিক (electromagnetic) বা তড়িৎ-চুম্বকযুক্ত লেন্‌স-এর (lens) সাহায্যে কেন্দ্রীভূত করা হয়, অপরপক্ষে আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ঐ কাজ প্রচলিত কাঁচের লেন্‌স-এর সাহায্যে করা হয়ে থাকে (৯নং চিত্র)। যেহেতু ইলেকট্রনগুলি বায়ু




৯ নং চিত্র :—দুইপ্রকার অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দৃষ্টি-সম্বন্ধীয় ব্যবস্থার (optical system) নক্সা।

শূন্য স্থানে অনেক দূর পর্যন্ত চলতে পারে, সেই কারণে এই যন্ত্রকে একটি সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য স্থানে আবদ্ধ রাখা হয়।

৬০,০০০ ভোল্ট (volt) বৈদ্যুতিক-শক্তির সাহায্যে যদি ইলেকট্রন-

গুলিকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ভিতর দিয়ে চালিত করা হয় তাহলে তাদের ওয়েভ্-লেংথ বা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য দাঁড়ায় প্রায় ০·০৫ অ্যাংস্ট্রম্। (বৈদ্যুতিক-শক্তি যত উচ্চ ভোল্ট-এর হয় ইলেকট্রনের ওয়েভ্-লেংথ্ তত হ্রাস পায়। উচ্চ-মানের যন্ত্রগুলিতে ৬০,০০০ ভোল্ট-এর বৈদ্যুতিক-শক্তি ব্যবহার করা হয়ে থাকে)। অতএব তত্ত্বগতভাবে বলা যায় যে, ইলেকট্রন অণু-বীক্ষণ যন্ত্রের দ্বারা ০·০৫ অ্যাংস্ট্রম্-এর অর্ধেক, অর্থাৎ ০·০২৫ অ্যাংস্ট্রম্ ব্যাস-সম্পন্ন পদার্থসমূহকে দেখা সম্ভব। (এই আয়তন একটি পরমাণুর [atom] ব্যাসের চেয়েও অনেক কম)। তবুও এই অতি-আধুনিক যন্ত্রটির 'রিজল্ভিং পাওয়ার' বর্তমানে ১০ অ্যাংস্ট্রম-এর কাছাকাছি সীমাবদ্ধ আছে। এর কারণ, সর্বদোষমুক্ত লেন্স-এর অভাব। উপরিউক্ত তথ্যাদি থেকে দেখা যাচ্ছে যে, 'মানুষের চোখ' সর্বনিম্ন ১০০ মাইক্রা ব্যাস পর্যন্ত পদার্থসমূহকে বিশ্লিষ্ট (resolve) করতে পারে, 'দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্র' পারে আনুমানিক ০·২ মাইক্রন পর্যন্ত এবং 'ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র' ০·০০১ মাইক্রন পর্যন্ত। অন্যভাবে বলা যেতে পারে যে, 'দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্র'-এর ও 'ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র'-এর রিজল্ভিং পাওয়ার 'মানুষের চোখ'-এর তুলনায় যথাক্রমে ৫০০ ও ১,০০,০০০ গুণ বেশী। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখবার জন্য দ্রষ্টব্য জিনিষগুলিকে বিশেষ ধরণের পদ্ধতির মাধ্যমে তৈরী করার প্রয়োজন আছে। তা' না হ'লে তাদের দেখা যায় না।

**আলট্র্যা-ভাইওলেট-অণুবীক্ষণ যন্ত্র** (*Ultra-violet microscope*) **:**

সেলের গঠন সম্পর্কে অনুসন্ধান চালাবার জন্য আর একটি কার্যকর যন্ত্র হচ্ছে, 'আলট্র্যা-ভাইওলেট বা অতিবেগনি আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণু-বীক্ষণ যন্ত্র'। আগেই বলা হয়েছে যে, আলোকরশ্মির 'ওয়েভ-লেংথ্' যত কম হবে তার 'রিজল্ভিং পাওয়ার' বা 'বিশ্লেষণী ক্ষমতা' তত বেশী হবে। যেহেতু আলট্র্যা-ভাইওলেট আলোকরশ্মির ওয়েভ-লেংথ্ দৃশ্যমান আলোক-রশ্মির ওয়েভ-লেংথের চেয়ে কম, অতএব, এই যন্ত্রের 'রিজল্ভিং পাওয়ার' দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রের চেয়ে বেশী। তবে, এই যন্ত্রে সাধারণ কাঁচের লেন্স ব্যবহার করা হয় না, কেননা আলট্র্যা-ভাইওলেট আলোকরশ্মি কাঁচের মধ্যে দিয়ে যেতে পারে না (৪০০০ অ্যাংস্ট্রম্-এর চেয়ে কম ওয়েভ-লেংথের আলোকরশ্মির কাছে কাঁচ অস্বচ্ছ)। এই যন্ত্রে সাধারণত 'ফিউজ্‌ড্ কোঅর্টজ্' (fused quartz

বা গলানো স্ফটিক) দ্বারা তৈরী লেন্‌স ব্যবহার করা হয়ে থাকে। এর মধ্যে দিয়ে সর্বনিম্ন ২৪০০ অ্যাংস্ট্রম্ পর্যন্ত ওয়েভ-লেংথের আলোকরশ্মি যেতে পারে। অনেক সময় ক্যাল্‌সিয়াম ফ্লুয়োরাইট (calcium fluorite) অথবা লিথিয়াম ফ্লুয়োরাইড (lithium fluoride) দ্বারা তৈরী লেন্‌স-ও ব্যবহৃত হয়। এদের মধ্যে দিয়ে আরও কম ওয়েভ-লেংথের, প্রায় ২০০০ অ্যাংস্ট্রম্ পর্যন্ত, আলোকরশ্মি যেতে পারে। অতএব, এই যন্ত্রের 'রিজল্‌ভিং পাওয়ার' হচ্ছে আনুমানিক ১০০০ অ্যাংস্ট্রম্ বা ০·১ মাইক্রন, অর্থাৎ 'দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্র'-এর দ্বিগুণ। আরও উন্নত-মানের লেন্‌স তৈরী করে আলট্র্যা-ভাইওলেট আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রের 'রিজল্‌ভিং পাওয়ার' বর্তমানে বৃদ্ধি করার প্রয়োজন বিশেষ অনুভূত হচ্ছে না, কেননা, এ-কাজের জন্য তো ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রই রয়েছে। তদুপরি, এই যন্ত্র ব্যবহারের কতকগুলি অসুবিধাও আছে। প্রথমত, আলট্র্যা-ভাইওলেট আলোকরশ্মি আমাদের পক্ষে চোখে দেখা সম্ভব নয় (কেননা, এই আলো চোখে লাগলে মানুষ অন্ধ হয়ে যেতে পারে), সুতরাং দ্রষ্টব্য বস্তুর (object) ছবি ধরে রাখার ব্যবস্থা এতে থাকা চাই। দ্বিতীয়ত, এই ধরণের আলোক জীবন্ত-সেলের ক্ষতি-সাধন করে; সেই কারণে যন্ত্রটির ব্যবহারে সব কিছুর সযত্ন-সমন্বয় খুবই প্রয়োজনীয়। অবশ্য সেলের ভিতরের কোন-কোন অংশের পরীক্ষার জন্য এই যন্ত্রটি সেলবিজ্ঞানীদের (Cytologists) কাছে একটি মূল্যবান অস্ত্র। নিউক্লিওপ্রোটীনগুলি যে ওয়েভ-লেংথের আলোককে অধিক-মাত্রায় শোষণ (absorb) করে, তা' আলট্র্যা-ভাইওলেট আলোকরশ্মির ওয়েভ-লেংথের পাল্লায় (range) পড়ে। ফলে, এই যন্ত্রের সাহায্যে রঙ না করা (unstained) সজীব সেলের ভিতরের নিউক্লিওপ্রোটীন দ্বারা গঠিত অংশগুলির, যথা, ক্রোমোসোমসমূহের আলোকচিত্র গ্রহণ করে তাদের পরীক্ষা করা সম্ভব হয়। যদিও আলট্র্যা-ভাইওলেট মাইক্রোস্কোপের প্রচলন সীমিত, তবুও আলট্র্যা-ভাইওলেট মাইক্রোস্পেক্‌ট্রোফোটোমিটার (Ultra-violet microspectrophotometer) সেলের নিউক্লীক অ্যাসিড-এর পরিমাণ নির্ধারণের ব্যাপারে অপরিহার্য বলে পরিগণিত হয়েছে।

**ফ্লুয়োরেসেন্স অণুবীক্ষণ যন্ত্র** (*Fluorescence microscope*) **:**

এই যন্ত্রেও আলোক প্রদানের উৎস হিসাবে আলট্র্যা-ভাইওলেট বা অতি-বেগনি আলোকরশ্মিকে ব্যবহার করা হয়। কোন-কোন রাসায়নিক পদার্থের উপর অতিবেগনি আলোকসম্পাত ঘটলে তাদের অণুর (molecules)

ভিতর উত্তেজনা সৃষ্টি হয়, ফলে ঐ অণুগুলি থেকে দৃশ্যমান আলোক (visible light) নির্গত হয়। এই ব্যাপারটিকে বলা হয় 'ফ্লুয়ারেসেন্স' (fluorescence বা প্রতিপ্রভা)। কতকগুলি বস্তু, যেমন, ক্লোরোফিল (chlorophyll), রাইবোফ্লেভিন (riboflavin) ইত্যাদি অতি সহজেই অতিবেগনি রশ্মিপাতে ফ্লুয়ারেসেন্স বা প্রতিপ্রভা প্রাপ্ত হয়। এই সকল বস্তুর উপস্থিতি খুব সহজেই 'ফ্লুয়ারেসেন্স অণুবীক্ষণ যন্ত্রে' ধরা পড়ে। অন্যান্য বস্তুগুলি, যথা, প্রোটীন, কার্বোহাইড্রেট প্রভৃতি অতিবেগনি রশ্মিপাতে অতি-মৃদু মাত্রায় ফ্লুয়ারেসেন্স লাভ করে, কিন্তু নির্দিষ্ট কতকগুলি রঙ প্রয়োগ করে তাদের ফ্লুয়ারেসেন্স বৃদ্ধি করা যায় এবং এইভাবে তাদের উপস্থিতিও এই যন্ত্রে ধরা পড়ে।

**ফেজ কনট্রাস্ট অণুবীক্ষণ যন্ত্র** (*Phase contrast microscope*)ঃ

দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত প্রচলিত অণুবীক্ষণ যন্ত্রগুলিতে জীবন্ত কোষকে পরীক্ষা করা খুবই অসুবিধাজনক। কেননা, দৃশ্যমান আলোক তাদের ভিতর দিয়ে খুব সহজে চলাচল করতে পারে, তার অ্যাবসর্প্শান (absorption বা শোষণ) অথবা ডিফ্লেক্শান (deflection বা বিক্ষেপ) কোনটিই ঘটে না, ফলে কোষের আকার কিছুই বোঝা সম্ভব হয় না। সেই কারণে এইসব যন্ত্রে কোষকে পরীক্ষা করার আগে 'বিশেষ প্রক্রিয়া'-র সাহায্যে তাদের দেখার উপযুক্ত করে নেওয়া হয়, যার ফলে কোষের ভিতরের বিভিন্ন অংশ বিভিন্ন ভাবে আলোককে অ্যাব্সর্ব্ বা শোষিত ও ডিফ্লেক্ট্ বা বিক্ষিপ্ত করে সুন্দরভাবে নিজেদের প্রকাশ করতে পারে। উক্ত বিশেষ প্রক্রিয়া বলতে 'ফিক্সেশান' (fixation বা স্থায়ীকরণ) এবং 'স্টেনিং'-কে (staining বা রঞ্জিতকরণ) বোঝানো হয়। এই সকল প্রক্রিয়া-সাধনের ফলে কোষের মূল-গঠনের পরিবর্তন ঘটা অস্বাভাবিক নয়। সেই কারণে জীবন্ত কোষকে পরীক্ষা করতে পারাটাই কোষবিজ্ঞানীদের নিকট অধিকতর কাম্য। ফেজ কনট্রাস্ট অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বিজ্ঞানীদের এই কামনা চরিতার্থ হয়।

কোষের উপাদানগুলি সব এক প্রকারের নয়। কোন-কোন অংশ অপরাপর অংশের তুলনায় পুরু। তদুপরি, যে মাধ্যমটির (medium) মধ্যে রেখে কোষটিকে পরীক্ষা করা হয় সেই মাধ্যমটির, কোষটির নিজের এবং কোষটির বিভিন্ন অংশের রিফ্র্যাক্টিভ ইন্ডেক্স (refractive index বা প্রতিসরাঙ্ক) বিভিন্ন প্রকারের। বিভিন্ন অংশের বেধ (thickness) ও রিফ্র্যাক্টিভ ইন্ডেক্স-এর বিভিন্নতার ফলে তাদের মধ্যে দিয়ে আলোক চলাচলের সময় বিভিন্ন অংশ বিভিন্ন ভাবে আলোকিত হয়।

'ফেজ কন্‌ট্রাস্ট অণুবীক্ষণ যন্ত্র' বিশেষ ব্যবস্থার সাহায্যে উপরিউক্ত বিভিন্ন ভাবে আলোকিত অংশগুলির সামগ্রিক উজ্জ্বলতার বৃদ্ধি ঘটিয়ে এক অংশের সঙ্গে অপর অংশের পার্থক্য নির্ণয়ে সাহায্য করে।

## অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষার জন্য কোষকে প্রস্তুতীকরণ

**ফিক্সেশান (*fixation* বা স্থায়ীকরণ) ঃ**

আগেই বলা হয়েছে যে অধিক প্রচলিত দৃশ্যমান আলোক ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রগুলিতে জীবন্ত কোষকে পরীক্ষা করা খুবই অসুবিধা-জনক। সেই কারণে কোষকে 'ফিক্স্' (fix) করার এবং রঙ করার (stain) প্রয়োজন। অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করার জন্য কোষের বিভিন্ন অঙ্গ ও রাসায়নিক উপাদানের (components) পছন্দমত সংরক্ষণকেই (preservation) বলা হয় কোষের 'ফিক্সেশান'। ফিক্সেশানের দ্রবণসমূহ কোষের উপর যেসব ক্রিয়া করে থাকে সেগুলি হচ্ছে, কোষকে ব্যাক্‌টিরিয়ার আক্রমণে বিনষ্ট হওয়ার হাত থেকে ও অটোলিসিস১ (autolysis) থেকে রক্ষা করে এবং কোষস্থ উপাদানগুলিকে অদ্রাব্য (insoluble) করে। এছাড়া কোষের সংকোচন ও আকারের বিকৃতি-ঘটন বহুলাংশে হ্রাস করে; কোষস্থ উপাদানগুলির দৃশ্যমানতা-র (visibility) বৃদ্ধি ঘটায় এবং কোষের উপাদানগুলিকে স্টেন (stain) বা রঞ্জিত হওয়ার উপযুক্ত করে।

ফিক্সেশানের প্রতিটি দ্রবণের মধ্যে এক বা একাধিক এমন দ্রব্য থাকে যা কোষের প্রোটীন-কে অদ্রাব্য করে। ফলে, কোষের প্রধান অংশগুলি পরবর্তী কার্যপ্রণালীর যথা, ডিহাইড্রেশান-এর (dehydration বা নিরুদন) সময় ও রঙ করার সময় ক্ষয়প্রাপ্ত হয় না। অধিকাংশ স্থলে যে দ্রবণগুলি ফিক্সেশানের জন্য ব্যবহার করা হয়ে থাকে সেগুলি হচ্ছে, ফর্ম্যালিন (formalin), অস্‌মিয়ায়ম টেট্রক্সাইড (osmium tetroxide), অ্যাসেটিক অ্যাসিড (acetic acid), অ্যালকোহল (alcohol বা কোহল), কার্নয়-এর দ্রবণ (Carnoy's solution), বোঁয়িন-এর দ্রবণ (Bouin's solution) ইত্যাদি। কোষের বিশেষ-বিশেষ অংশ পরীক্ষার জন্য বিশেষ-বিশেষ দ্রবণ ব্যবহার করা হয়। যেমন, স্নেহপদার্থগুলিকে পরীক্ষা করার ইচ্ছা থাকলে অ্যালকোহল ব্যবহার করা যাবে না, কেননা,

১ কোষের মৃত্যুর পর তার ভিতরের এনজাইমগুলির ক্রিয়ায়, কোষের বিভিন্ন অংশ ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়; একে 'অটোলিসিস' বলে।

তা' স্নেহপদার্থকে দ্রবীভূত করে। তেমনি, গল্‌গি, মাইটোকন্‌ড্রিয়া, সাইটোপ্লাজ্‌ম ইত্যাদিকে পরীক্ষা করার জন্য অস্‌মিয়াম টেট্রক্সাইড ও ফর্ম্যালিন, এবং ক্রোমোসোম-কে পরীক্ষার জন্য অ্যাসেটিক অ্যাসিড, বোঁয়িন-এর দ্রবণ ইত্যাদি ব্যবহার করা হয়ে থাকে।

কোষস্থ এনজাইমগুলির ও অন্যান্য আরও কয়েকটি প্রোটীন-সম্পর্কিত পরীক্ষার জন্য ফিক্সেশানের রাসায়নিক দ্রবণগুলি উপযুক্ত নয়। সে ক্ষেত্রে দ্রুত জমাট বাঁধানো-র (freezing) পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়। এই পদ্ধতিতে টিস্যু-র (tissue বা কলা) অংশটিকে –১৭০° ডিগ্রী থেকে –১৮০° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উত্তাপে জমিয়ে ফেলা হয়। একইভাবে, পরবর্তীকালে ডিহাইড্রেশান-এর (dehydration) জন্য অ্যাল্‌কোহল ব্যবহারের পরিবর্তে, টিস্যুটিকে একটি বায়ুশূন্য স্থানে –৪০° ডিগ্রী থেকে –৬০° ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উত্তাপে শুকিয়ে নেওয়া হয় (freeze-drying) ফিক্সেশানের জন্য যে পদ্ধতিরই অনুসরণ করা হোক না কেন, কোষগুলিকে তাদের স্বাভাবিক বাসস্থান (অর্থাৎ, প্রাণি বা উদ্ভিদ্‌-দেহ) থেকে অপসারিত করবার পর যত শীঘ্র সম্ভব ফিক্স্‌ করে ফেলতে হবে। তা না হলে কোষের ভিতর অবাঞ্ছিত পরিবর্তন ঘটবে।

**সেক্‌শানিং (*Sectioning* বা ছেদন) ঃ**

ফিক্সেশানের পর টিস্যুটিকে সাধারণত প্যারাফিন (paraffin) বা খনিজ মোম-এর ভিতর অথবা ঐ জাতীয় অন্য কোন পদার্থের ভিতর রেখে মাইক্রোটোম (microtome) যন্ত্রে তাকে অতি সূক্ষ্ম-বেধসম্পন্ন অংশে সেক্‌শান বা ছেদ করা হয়।

**স্কোয়াশিং (*Squashing*) ঃ**

ক্রোমোসোম পর্যবেক্ষণের জন্য সাধারণত স্কোয়াশিং পদ্ধতি কাজে লাগানো হয়। এই পদ্ধতিতে ফিক্সেশানের পর টিস্যুটিকে কাঁচের স্লাইড-এর (glass slide) উপর অতি অল্প পরিমাণ ৪৫ শতাংশ অ্যাসেটিক অ্যাসিডের (45% acetic acid) মধ্যে রেখে কভার গ্লাস (cover glass) দিয়ে ঢাকা দেওয়া হয়। এর পর একটি ফিল্টার কাগজের সাহায্যে কভার গ্লাসের উপর আঙুলের মৃদু চাপ প্রয়োগ করা হয়, যাতে টিস্যুর অংশগুলি স্লাইডের উপর সুন্দরভাবে ছড়িয়ে পড়ে।

**স্টেনিং (*Staining* বা রঞ্জিতকরণ) ঃ**

দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কোষকে পরীক্ষা করার জন্য কোন্ রঙ ব্যবহার করতে হবে, তা' কয়েকটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে। ঐ বিষয়গুলি হচ্ছে, যে বস্তুটিকে পরীক্ষা করা হবে তার প্রকৃতি, ঐ বস্তুটিকে ফিক্স্ করার জন্য যে দ্রবণ ব্যবহার করা হয়েছে তার ধরণ এবং রঙটির কেমিক্যাল রিঅ্যাক্শানের (chemical reaction) বা রাসায়নিক বিক্রিয়া-র ধরণ। তদুপরি, রঙটির কন্সেনট্রেশান (concentration বা গাঢ়ীভবন) এবং কিরকম উত্তাপে ও pH-এতে [অর্থাৎ, হাইড্রোজেন ও হাইড্রোক্সিল আয়ন-এর (hydroxyl ions) গাঢ়ীভবন-এ] রঙটি বেশী সক্রিয় তাও বিবেচনা করতে হয়। কোন-কোন ক্ষেত্রে সহজে রঙের রিঅ্যাক্শান বা বিক্রিয়া ঘটানোর জন্য একটি অতিরিক্ত পদার্থের প্রয়োজন হয়। এই পদার্থটিকে বলা হয় "মর্ডান্ট্" (mordant), এবং এর ভিতর এক বা একাধিক ধাতু (metal) থাকে যা' কোষের প্রোটীন এবং স্টেনিং-এর জন্য ব্যবহৃত রঙ, এদের উভয়ের সঙ্গেই যুক্ত হতে পারে। মর্ডাণ্ট্টিকে ফিক্সেশানের দ্রবণের সঙ্গে মিশ্রিত করা যেতে পারে অথবা রঙ-এর সঙ্গেও সেটিকে ব্যবহার করা যেতে পারে। রঙ ও মর্ডান্ট্-এর সংমিশ্রণ 'লেক' (lake) নামে পরিচিত। হিমাটক্সিলিন (haematoxyline), কারমিন (carmine) ইত্যাদি রঙকে লেক-রূপে ব্যবহার করা হয়ে থাকে।

কোষের উপাদানগুলিকে স্টেনিং-এর জন্য যে রঙগুলি ব্যবহার করা হয়, তাদের মধ্যে দু'শ্রেণীর সক্রিয় রাসায়নিক পদার্থ থাকে, যথা, 'ক্রোমোফোরিক' (chromophoric) ও 'অক্সোক্রোমিক' (auxochromic) শ্রেণী। ক্রোমোফোরিক শ্রেণী রঙটিকে তার বর্ণ (colour) দান করে। এই শ্রেণীর উদাহরণ হচ্ছে, কার্বক্সিল (carboxyls), অ্যাজো (azo), নাইট্রো (nitro) ইত্যাদি ($-cooH$, $-N{=}N-$, $-NO_2$)। অক্সোক্রোমিক শ্রেণী রঙটিকে বিভিন্ন উপাদানের সঙ্গে যুক্ত হবার ক্ষমতা প্রদান করে। এই শ্রেণীটি যদি সালফেট (sulphate), হাইড্রোক্সিল (hydroxyls) বা কার্বক্সিল হয়, তাহলে রঙটি হবে 'অ্যাসিডিক' (acidic বা আম্লিক) এবং যদি এটি অ্যামিনো (aminos) হয় তাহলে রঙটি হবে 'বেসিক' (basic বা ক্ষারকীয়)। অন্য ভাবে বলা যেতে পারে যে, অক্সোক্রোম শ্রেণীটি যদি বেস-এর (base) বা ক্ষারক-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে রাসায়নিক লবণ (salt) তৈরী করে তাহলে রঙটি হবে 'অ্যাসিডিক' এবং যদি কোন

অ্যাসিড-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে রাসায়নিক লবণ তৈরী করে তাহলে রঙটি হবে 'বেসিক'।

নিম্ন pH-এ অ্যাসিডিক রঙগুলি, যে বস্তুটিকে স্টেন্ বা রঞ্জিত করা হবে তার সঙ্গে বেসিক রঙগুলির তুলনায় অধিকতর দক্ষতার সঙ্গে সংযুক্ত বা মিলিত হতে পারে, এবং সাধারণত 'সাইটোপ্লাজ্ম'-কে স্টেন্ করার জন্য এদের ব্যবহার করা হয়। অ্যাসিড ফুক্সিন (Acid Fuchsin), কঙ্গো রেড (congo red), মিথাইল ব্লু (methyl blue), অরেঞ্জ জি (orange G), জেনাস গ্রীন বি (Janus green B) প্রভৃতি রঙগুলি অ্যাসিডিক রঙ। উচ্চ pH-এ বেসিক রঙগুলি অ্যাসিডিক রঙগুলির তুলনায় অধিকতর দক্ষতার সঙ্গে সংযুক্ত হতে পারে এবং সাধারণত 'নিউক্লিয়স'-কে স্টেন করার জন্য এদের ব্যবহার করা হয়। বেসিক ফুক্সিন (Basic Fuchsin), ক্রিস্টাল ভাইওলেট (crystal violet), স্যাফ্রানিন (safranine), মিথাইল গ্রীণ (methyl green) প্রভৃতি রঙগুলি হচ্ছে বেসিক রঙ।

জীবন্ত কোষের বিভিন্ন অংশ পরীক্ষা করার জন্য একধরণের রঙ ব্যবহার করা হয়, যারা 'ভাইটাল ডাইজ' (vital dyes বা জীবনরক্ষক রঙ) রূপে পরিচিত। এই ডাই বা রঙগুলির প্রয়োগে কোষগুলির মৃত্যু বিলম্বিত হয়, অর্থাৎ তাদের জীবদ্দশাতেই তাদের বিভিন্ন অংশকে স্টেন করে পরীক্ষা করা যায়। অধিক প্রচলিত একটি 'ভাইটাল ডাই' হচ্ছে জেনাস গ্রীণ বি (Janus green B), যা মাইটোকন্ড্রিয়াকে রঞ্জিত করে। অন্যান্য উল্লেখযোগ্য 'ভাইটাল ডাই' হচ্ছে, মিথাইল ব্লু—যা গল্‌গি-কে রঞ্জিত করে এবং নিউট্রাল রেড (neutral red)—যা সাইটোপ্লাজ্ম-কে রঞ্জিত করে।

## অটোরেডিওগ্রাফী

## (Autoradiography)

এই প্রক্রিয়ায় একটি তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ-কে (radioactive isotope) কোষের ভিতর প্রবেশ করানো হয় এবং তারপর কোষের কোন্ অঙ্গ তাকে গ্রহণ করলো তা' আলোকচিত্রের সাহায্যে নির্ধারণ করা হয়।

কোষের শারীরবৃত্ত (physiology)-সম্পর্কীয় পরীক্ষা-নিরীক্ষায় এই প্রক্রিয়া কত কার্যকর তা' একটি উদাহরণ দিলেই সহজে বোঝা যাবে। তেজস্ক্রিয় সাইটিডিন-কে (cytidine) কোষের মধ্যে প্রবেশ করানোর পর দেখা যায় যে ঐ কোষের ডি-এন-এ (D N A) এবং আর-এন-এ

(R N A) উভয়েই তেজস্ক্রিয় হয়ে যায়। এই ঘটনা থেকে এটাই বোঝা যায় যে, ডি-এন-এ এবং আর-এন-এ সিন্থেসিস-এ (D N A and RNA synthesis) সাইটিডিন কাজে লাগে। এ ছাড়া অটোরেডিওগ্রাফী পদ্ধতি ব্যবহার করে আমরা সেলের বিভিন্ন ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র' অংশের কার্যক্রম সম্বন্ধেও সম্যক জ্ঞান লাভ করছি।

## কোষের অঙ্গগুলিকে পৃথগীকরণ

## (Isolation of cellular components)

কোষের বিভিন্ন অঙ্গের (organelles) উপর কোষের নির্ভরশীলতা, অথবা ঐ সকল অঙ্গের জৈব-রাসায়নিক (biochemical) প্রকৃতি নির্ধারণের জন্য কোষ-দেহ থেকে ঐসব অঙ্গকে পৃথক্ করার বিভিন্ন প্রকার কৌশল আবিষ্কৃত হয়েছে। অধিকাংশ কোষই আকারে এত ছোট যে খালি-চোখে তাদের দেখা যায় না। এ থেকে সহজেই বোঝা যায় যে তাদের ভিতর থেকে বিভিন্ন অঙ্গকে পৃথক্ করে বাইরে আনার জন্য অসাধারণ দক্ষতার প্রয়োজন এবং শুধু তাই নয়, এ-কাজের জন্য অতি সূক্ষ্ম যন্ত্রপাতিরও প্রয়োজন।

**মাইক্রার্জি** (*Micrurgy*) **:**

১৯২০ খ্রীস্টাব্দে টিবর পেটের্ফি (Tibor Peterfi) প্রথম 'মাইক্রার্জি' শব্দটি ব্যবহার করেন। এই শব্দটির দ্বারা মাইক্রোডিসেকশান (microdissection) বা মৃত কোষের অঙ্গচ্ছেদ, মাইক্রোভাইভিসেক্শান (microvivisection) বা সজীব কোষের অঙ্গচ্ছেদ, মাইক্রোইঞ্জেক্শান (microinjection) বা কোষদেহে কোন তরল পদার্থ প্রবিষ্ট করানো ও এই ধরণের অন্যান্য আর সব কাজকেও বোঝায়। নানা প্রকার আণুবীক্ষণিক কলাকৌশলের সাহায্যে 'মাইক্রোম্যানিপিউলেটর' (micromanipulator), 'মাইক্রো-পিপেট' (micropipettes) এবং 'মাইক্রোইঞ্জেকশান'-এর (microinjection) যন্ত্রাদি ব্যবহার করে উপরিউক্ত কাজগুলি করা হয়। উপরে উদ্ধৃত যন্ত্রগুলির সাহায্যে কোষ থেকে নিউক্লিয়স, ক্রোমোসোম ইত্যাদির অপসারণ করা হয়ে থাকে, কোষের ভিতরে বিভিন্ন দ্রব্য প্রবেশ করানো হয় এবং এক কোষ থেকে অন্য কোষে বিভিন্ন অঙ্গের ট্রান্স্প্ল্যান্টেশান (transplantation) বা স্থানান্তরকরণ-ও করা হয়ে থাকে। কোষের যে সব অঙ্গকে ট্র্যান্স্প্ল্যাণ্ট বা স্থানান্তর

করা এখনও পর্যন্ত সম্ভব হয়েছে সেগুলি হচ্ছে, নিউক্লিয়স ও নিউক্লিওলস (nucleolus)।

**কোষের অঙ্গগুলি পৃথগীকরণ** (*Cell fractionation*)**:**

মাইক্রোর্জি পদ্ধতিতে কোষ থেকে বিভিন্ন অঙ্গকে বার করে নিয়ে আসা যায় বটে, কিন্তু যদি এক সাথে অধিকসংখ্যক কোষ থেকে উপাদানগুলিকে বার করার প্রয়োজন হয়, যেমন, তাদের জৈব-রাসায়নিক প্রকৃতি (bio-chemical nature) নির্ধারণের সময় হয়ে থাকে, সেক্ষেত্রে মাইক্রোর্জি পদ্ধতি পর্যাপ্ত নয়। এছাড়া ঐ পদ্ধতিতে কোষের ক্ষুদ্রতর অংশগুলির পৃথগীকরণ মোটেই সম্ভব নয়। কোষের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র অংশগুলির পৃথগীকরণ তাদের বিশ্লেষণের (analysis) পক্ষে অপরিহার্য। এর দ্বারা ঐ ক্ষুদ্রতর অংশগুলিকে ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অথবা জৈব-রাসায়নিক বিশ্লেষণের (biochemical analysis) আওতায় আনা যায়। এই কাজে প্রথমে কোষের প্লাজ্‌মা-পর্দাটিকে অপসারণ করা হয়। এই অপসারণের কাজের জন্য যে কৌশলগুলি অবলম্বন করা হয় সেগুলি হচ্ছে, কোষগুলিকে খল-এর (mortar) ভিতর চূর্ণ করা, গম্ভীর শব্দঝঙ্কার থেকে উৎপন্ন কম্পনের মধ্যে তাদের রাখা এবং যে এনজাইমগুলি প্লাজ্‌মা-পর্দাকে ধ্বংস করতে পারে তাদের ব্যবহার।

প্লাজ্‌মা-পর্দার অপসারণের পর 'আলট্র্যা' সেন্ট্রিফিউগেশান'-এর (ultra centrifugation বা সুতীব্র অপকেন্দ্র-গতি) দ্বারা কোষের উপাদানগুলিকে পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন করা যায়। উপাদানগুলির এই বিচ্ছিন্নতা প্রাপ্ত হওয়াটা তাদের আয়তন ও স্পেসিফিক গ্র্যাভিটি-র (specific gravity বা আপেক্ষিক গুরুত্ব) পার্থক্যের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত। অপেক্ষাকৃত অল্প তীব্রতাবিশিষ্ট 'সেন্ট্রিফিউগেশান'-এর দ্বারা কোষস্থ বড়-বড় কণিকাগুলি বিচ্ছিন্ন হয়; এই গতির তীব্রতা যত বৃদ্ধি পায় তত সূক্ষ্ম-সূক্ষ্ম কণিকাগুলি বিচ্ছিন্ন হতে থাকে। উদাহরণস্বরূপ উল্লেখ করা যেতে পারে যে, প্লাজ্‌মা-পর্দার অপসারণের পর কোষের উপাদানসমূহ থেকে গ্র্যাভিটি-র (gravity) বা অভিকর্ষের ৭০০ গুণ তীব্রতাসম্পন্ন সেণ্ট্রিফিউগেশানের দ্বারা নিউক্লিয়সগুলি বিচ্ছিন্ন হয়। নিউক্লিয়সগুলি বিচ্ছিন্ন হয়ে যাবার পর বাকি উপাদানগুলিকে গ্র্যাভিটির ৫,০০০—৮,৫০০ গুণ তীব্রতাযুক্ত সেণ্ট্রিফিউগেশানের আওতায় রাখলে তা' থেকে মাইটোকন্‌ড্রিয়াগুলি বিচ্ছিন্ন হয়ে যায়। এইরূপে সেণ্ট্রিফিউ-

গেশানের তীব্রতা যত বৃদ্ধি করা যায় তত সূক্ষ্মাতিসূক্ষ্ম অংশ,, যথা, লাইসোসোম, রাইবোসোম ইত্যাদি বিচ্ছিন্ন হতে থাকে।

উপরিউক্ত পদ্ধতিতে কোষের বিভিন্ন অঙ্গকে পৃথক্-পৃথক্ রূপে পাওয়ার পর অণুবীক্ষণ যন্ত্রে তাদের পরীক্ষা করে অঙ্গটিকে সনাক্ত (identify) করা হয় এবং তারপর অন্যান্য নানাপ্রকার প্রক্রিয়ার মাধ্যমে তাদের রাসায়নিক স্বরূপ ও কার্যকলাপ নির্ধারণ করা হয়।

# ৪ ॥ প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন

উদ্ভিদ্‌কোষে সেল-ওয়াল (cell wall) বা কোষ-প্রাচীর এবং সাইটো-প্লাজ্‌ম-এর মাঝখানে প্লাজ্‌মা মেমব্রেন-এর (plasma membrane) অবস্থান। অধিকাংশ প্রাণিকোষে এটি কোষের বাইরের দিকের সীমা-নির্ধারক পর্দা। এই পর্দাকে প্রথম থেকেই 'পার্মিয়েবিলিটি ব্যারিয়ার' (permeability barrier বা ভেদ্যতার বাধা) রূপে ধরে নেওয়া হয়েছিল এবং এখনও পর্যন্ত 'পার্মিয়েবিলিটির নিয়ন্ত্রণ'-কেই এর প্রধান কাজ হিসাবে ধরা হয়। সে যা হোক, কোষের বহির্গাত্র বেশ জটিল এবং তা' 'ভেদ্যতার বাধা'-র চেয়েও কিছু বেশী; ইহা কোষের ভিতরের জিনিষগুলিকে রক্ষা করে। শুধু তাই নয়, ইহা কোষ এবং তার পরিবেশ-এর পরস্পরের প্রতি ক্রিয়া সম্পাদনের ক্ষেত্র। কখনও-কখনও প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনকে 'সেল মেমব্রেন'-ও (cell membrane) বলা হয়ে থাকে। কিন্তু, সেলের বা কোষের ভিতর নানাধরণের অনেক পর্দা থাকায় 'সেল মেমব্রেন' নামটি অনিশ্চিত অর্থবোধক। অতএব, কোষের বাইরের দিকের সীমা-নির্ধারক পর্দাকে 'প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন' বলাই যুক্তিযুক্ত।

অণুবীক্ষণ যন্ত্রে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের আকৃতি ও গঠন সম্পর্কে জ্ঞান-লাভেরও আগে, তার জৈব-ক্রিয়াকলাপের মাধ্যমে, তাকে প্রথম সনাক্ত (identify) করা সম্ভব হয়। মাত্র কিছুকাল আগে, এই শতাব্দীর পঞ্চম দশকের শেষভাগে, ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে একে দেখা সম্ভব হয়েছে।

স্তন্যপায়ী প্রাণিদের রক্তের লোহিত কণিকা (red blood corpuscles) এবং নার্ভ-ফাইবারের (nerve fibre বা স্নায়ু-সূত্র) মায়েলিন আবরণ (myelin sheath) থেকে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের গঠন ও ধর্মাবলী বা বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে প্রচুর তথ্য লাভ করা সম্ভব হয়েছে। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করার জন্য এবং ফিজিওলজিক্যাল (physiological বা শারীর-বৃত্তীয়) অন্যান্য গবেষণার জন্য লোহিত কণিকা থেকে বিশেষ প্রক্রিয়ায় সমস্ত বস্তুকে সরিয়ে দিয়ে কেবলমাত্র প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনটিকে রেখে দেওয়া যায়। এইরূপে পাওয়া প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনটিকে 'ঘোস্ট্‌' (ghost) আখ্যা দেওয়া হয়। পণ্ডার (Ponder) এবং অন্যান্যেরা এই বলে প্রতিবাদ জানিয়েছেন যে, জীবন্ত-কোষে অবস্থিত প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের সঙ্গে 'প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের ঘোস্ট্‌'-এর সাদৃশ্য নেই—শেষোক্তটি প্রথমোক্তটির সঠিক প্রতিকৃতি নয়। অন্তত একজন গবেষকের মতে 'ঘোস্ট্‌' হচ্ছে কোষ থেকে

প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনকে বিচ্ছিন্ন করার কলাকৌশলের ফল হিসাবে পাওয়া বস্তু। তথাপি, লোহিত কণিকা এবং নার্ভ-সেলের উপর গবেষণা এবং বর্তমানে আরও নানাপ্রকার কোষের উপর পরীক্ষা-নিরীক্ষার ফলে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন সম্পর্কে জ্ঞানের মূলভিত্তি রচিত হয়েছে। ভবিষ্যতের গবেষণা এ-ব্যাপারে আরও তথ্যলাভে সহায়ক হবে।

## রাসায়নিক গঠন

বিংশ শতাব্দির শেষে উদ্ভিদ্‌-কোষের পার্মিয়েবিলিটির বা ভেদ্যতার উপর ওভারটন-এর (Overton) কাজ এবং লোহিত কণিকার উপর হেডিন (Hedin) এবং গ্রিজ্‌ন্‌স্‌ (Grijns)-এর কাজ থেকে প্রকাশ পায় যে, কোন দ্রাব্যের (solute) কোষের ভিতর প্রবেশের গতি তার লিপিড-এ দ্রবীভূত হবার শক্তির উপর নির্ভরশীল—যেসব দ্রব্য লিপিডে দ্রবীভূত হয় তারা, যেসব দ্রব্য লিপিডে দ্রবীভূত হয় না তাদের তুলনায় অধিকতর দ্রুততার সঙ্গে কোষের ভিতর প্রবেশ করে। এই পর্যবেক্ষণ এবং প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন কর্তৃক সহজেই অস্‌মিয়াম টেট্রক্সাইড (osmium tetroxide) অথবা লেড কম্পাউন্ডগুলিকে (lead compounds বা সীসকযুক্ত যৌগিক পদার্থ) গ্রহণের ক্ষমতা, তার মধ্যে লিপিড-জাতীয় যৌগিক পদার্থের উপস্থিতি সূচিত করে। বস্তুত, প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে কতকগুলি লিপিড-কে, যেমন 'লেসিথিন' (lecithin), 'সেফালিন' (cephalin) ও 'কোলেস্টেরল'-কে (cholesterol) সনাক্ত করা হয়েছে।

১৯২৫ খৃীস্টাব্দে গর্টার এবং গ্রেন্ডেল (Gorter and Grendel) বিভিন্ন স্পিসিসের (species বা প্রজাতি) কতিপয় স্তন্যপায়ী প্রাণির লোহিত কণিকাস্থ প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের ঘোস্ট্‌' থেকে লিপিড নিষ্কাশন করে দেখেন যে, প্রতিক্ষেত্রে নিষ্কাশিত লিপিড সমতুল লোহিত কণিকার বহির্ভাগের ক্ষেত্রফলের (area) দ্বিগুণ স্থান অধিকার করেছে। এই পর্যবেক্ষণ এটাই সংকেত করে যে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন দ্বি-স্তরযুক্ত বা দ্বি-আণবিক স্তরযুক্ত (bimolecular layer) লিপিড দ্বারা গঠিত।

১৯৩১ সালে হার্ভে-র (Harvey) এবং ১৯৩৫ সালে ড্যানিয়েলী ও হার্ভে-র (Danielli and Harvey) কোষ-পৃষ্ঠে 'সার্‌ফেস টেনসান'-এর (surface tension বা পৃষ্ঠ-টান) পরিমাপ সংক্রান্ত পরীক্ষার দ্বারা এটা জানা যায় যে উক্ত টান (সাইটোপ্লাজ্‌ম-এর) জল থেকে লিপিডকে পৃথক্‌ করতে গেলে যতখানি হওয়া উচিত তার চেয়েও কম। উক্ত গবেষকগণ কোষপৃষ্ঠের কোন্‌ বস্তুটির সক্রিয়তা এই সার্‌ফেস টেনসান হ্রাসের জন্য

দায়ী তাও প্রমাণ করেন। ঐ বস্তুটি হ'ল একটি গ্লোবিউলিন-জাতীয় প্রোটীন (Globulin-like protein)।

উপরিউক্ত গবেষকদের পরীক্ষা-নিরীক্ষার ফলে ধীরে-ধীরে এই মত-বাদের প্রকাশ ঘটতে লাগলো যে, প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন লিপিডের একটি বাই-মলিকিউলার স্তর বা দ্বি-আণবিক স্তর দ্বারা গঠিত, যাকে আবার চারিদিক থেকে ঘিরে রেখেছে প্রোটীনের স্তর (১০ নং চিত্র)। প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের বাইরের দিকের প্রোটীন-আবরণীর সঙ্গে 'ফস্‌ফোলিপিড' (phospho-lipid) সংযুক্ত থাকে। লোহিত-কণিকাস্থ প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের প্রোটীন-উপাদান বিশ্লেষণ করে দেখা গেছে যে তা 'হিস্টিডিন' (histidine), 'টাইরোসিন' (tyrosine), 'ট্রিপ্‌টোফ্যান' (tryptophan), 'মেথিয়োনিন' (methionine) ছাড়াও তুলনামূলকভাবে অধিক পরিমাণে 'আর্গাইনিন' (argininc) ও 'লাইসিন' (lysine) এবং স্বল্প পরিমাণে 'সিস্‌টীন' (cysteine) নামক অ্যামিনো অ্যাসিড দ্বারা গঠিত। একই প্রকারের প্রতিটি কোষের প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনে অ্যামিনো অ্যাসিডের পরিমাণ সাধারণত অপরি-বর্তনীয় থাকে, কিন্তু বিভিন্ন প্রকারের কোষে অথবা বিভিন্ন স্তন্যপায়ী প্রাণির একই ধরণের কোষে তাদের পরিমাণের তারতম্য ঘটে। এটাও লক্ষ্য করা গেছে যে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনে লিপিডের চেয়ে প্রোটীনের পরিমাণ বেশী। স্তন্যপায়ী প্রাণিদের লোহিত কণিকাস্থ এই মেমব্রেনে প্রোটীন ও লিপিড-এর ওজন অনুযায়ী (by weight) আনুপাতিক হার প্রায় ১·৬ ঃ ১। প্রোটীন অথবা লিপিড-এর তুলনায় প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনে জল-এর পরিমাণে তারতম্য ঘটে অনেক বেশী। অধিকাংশ পরীক্ষাতেই দেখা গেছে যে, মেমব্রেনের উপাদানগুলির মধ্যে জলের পরিমাণ শতকরা ২৫ ভাগেরও কম। অধুনা বেল (Bell) জানিয়েছেন যে, প্লাজ্‌মা-মেম-ব্রেনের বাইরের দিকে এক প্রকারের 'পলিস্যাখারাইড' (polysaccha-ride) আছে, যা 'লাইপোপ্রোটীন' যৌগকে কিছুটা স্থায়িত্ব দান করে।

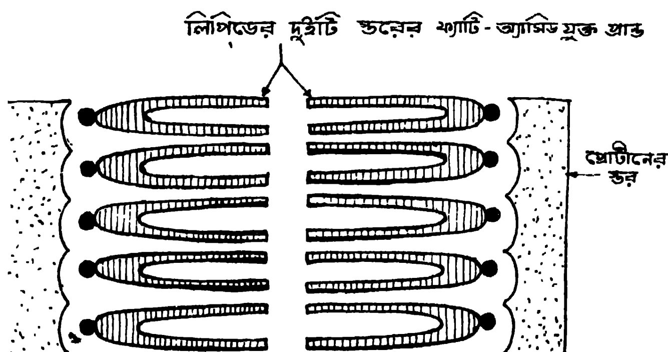
## মর্‌ফোলজি

(Morphology বা অঙ্গসংস্থান)

ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা পরীক্ষার মাধ্যমে লব্ধ প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের আকৃতির নক্সার সঙ্গে ফিজিকোকেমিক্যাল (physicochemical বা ভৌত-রাসায়নিক) প্রমাণের দ্বারা লব্ধ 'ড্যানিয়েলী নক্সা'-র (Danielli model) অসাধারণ মিল খুবই তাৎপর্যপূর্ণ।

রবার্টসন (Robertson) ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করে প্রতি কোষের প্রান্তসীমায় একটি ত্রিস্তরযুক্ত কাঠামো অবলোকন করেন। এটি একই মাপের দু'টি অস্বচ্ছ (opaque) স্তর এবং তাদের মাঝখানে একটি ফিকে বলয় (light zone) দ্বারা গঠিত (৬নং চিত্র)। কোষের নানা অঙ্গের (organelles) মেমব্রেনের গঠনাকৃতি উপরিউক্ত ধরণের হওয়ায় এই আকৃতিকে কোষস্থ সমুদয় মেমব্রেনের মূল-কাঠামো বলে ধরা হয়। এটিই ইউনিট মেমব্রেন (unit membrane) বা 'ঝিল্লীর একক' রূপে পরিচিত। রবার্টসন-এর এই পর্যবেক্ষণ 'ড্যানিয়েলী নক্সা'-র সঙ্গে সর্বতোভাবে মিলে যায়—দু'ধারের দু'টি অস্বচ্ছ বা গাঢ় স্তর ড্যানিয়েলী নক্সার প্রোটীন-স্তরের এবং মাঝখানের ফিকে বলয়টি লিপিড-স্তরের প্রতিরূপ।

এক্স্-রে ডিফ্র্যাক্‌শান (X-ray diffraction বা এক্স্-রশ্মির অপবর্তন) দ্বারাও প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের গঠন সুন্দরভাবে জানা গেছে। এই প্রক্রিয়ার মাধ্যমেও এটা পরিষ্কার ভাবে বোঝা গেছে যে, প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন পূর্ব-বর্ণনা অনুযায়ী লিপিড ও প্রোটীনের সমন্বয়ে গঠিত। লিপিড-স্তরের দু'টি সারির অণুগুলির (molecules) সজ্জা-রীতি বেশ সুনিয়ন্ত্রিত। অণু-গুলির ফ্যাটি অ্যাসিডযুক্ত (fatty acid বা মেদাম্ল) প্রান্তগুলি একে অপরের মুখোমুখি থাকে এবং জলে দ্রবীভূত প্রান্তগুলি বাইরের দিকে ফিরানো থাকে (১০ নং চিত্র)।



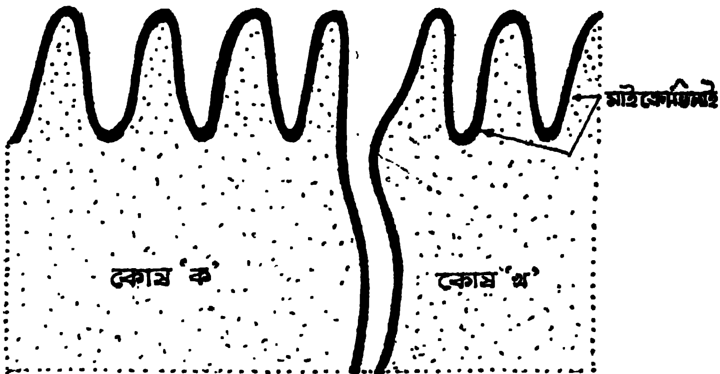

১০ নং চিত্র ঃ—প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের গঠন।

ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে জানা গেছে যে, প্রোটীনের প্রতিটি স্তর ২০ অ্যাংস্ট্রম (Angstrom) এবং মাঝের লিপিড-স্তরটি ৩৫ অ্যাংস্ট্রম

পুরু। অতএব, প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনটির মোট বেধ (thickness) ৭৫ অ্যাংস্ট্রম।

ড্যানিয়েলী এবং তাঁর সহযোগীদের মতে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনে লিপিড-স্তরের দু'ধারেই আছে প্রোটীনের স্তর। কিন্তু, রবার্টসন এ-ব্যাপারে তাঁদের সঙ্গে একমত নন। তাঁর নিজের স্টেনিং (staining) বা রঞ্জন প্রক্রিয়ায় লব্ধ ফল থেকে তিনি মনে করেন যে, ভিতরের দিকের স্তরটি অর্থাৎ হায়ালো-প্লাজ্‌ম-এর গায়ে লাগানো স্তরটি, প্রধানত প্রোটীন দ্বারা গঠিত, কিন্তু কোষের বাইরের দিকের স্তরটি প্রধানত কার্বোহাইড্রেট দ্বারা তৈরী।

প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনে কিছু সূক্ষ্ম ছিদ্রের (pores) অস্তিত্ব কল্পনা করা হয়। প্রতিটি ছিদ্রের ব্যাস আনুমানিক ৮ অ্যাংস্ট্রম বলে ধরা হয়ে থাকে। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রেও এত ছোট ছিদ্র ধরা পড়ে না। তাই তাদের অস্তিত্ব প্রমাণের জন্য অপ্রত্যক্ষ উপায়ের (indirect method) উপর নির্ভর করতে হয়। 'অস্‌মোটিক প্রেষ' (osmotic pressure) সম্পর্কে গবেষণার মাধ্যমে এদের অস্তিত্ব উপলব্ধি করা গেছে। যখন কোন সলিউট (solute বা দ্রাব) মেমব্রেনকে ভেদ করতে পারে না তখন মেমব্রেনের উপর একটি চাপ-এর সৃষ্টি হয়, ঐ চাপ-কে বলা হয় 'অস্‌মোটিক প্রেষ'। সলিউট-এর




১১ নং চিত্র :—মাইক্রো-ভিলাইসহ দু'টি কোষের অংশ দেখানো হয়েছে।

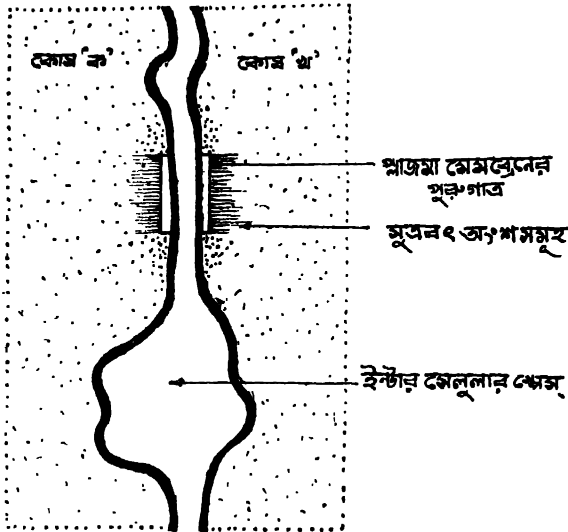
অণুর আকার মেমব্রেনে অবস্থিত ছিদ্রের আকারের চেয়ে ছোট হ'লে 'অস্‌মোটিক প্রেষ' হ্রাস পায়, অপরপক্ষে সলিউট-এর অণুর আকার ছিদ্রের আকারের চেয়ে বড় হ'লে 'অস্‌মোটিক প্রেষ'-এর বৃদ্ধি ঘটে। এই মত-

বাদকে ভিত্তি করে সলোমন (Solomon) লোহিত কণিকার মেমব্রেনের ছিদ্রের মাপ ৮·৪ অ্যাংস্ট্রম ধার্য করেছেন।

বহুপ্রকার কোষে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন ভিলাই-এর (villi বা ভাঁজ) আকারে সাইটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে ঝুলে থাকে। এইসব ভিলাই-কে বলা হয় মাইক্রো-ভিলাই (microvilli বা অণু-ভাঁজ) [ ১১নং চিত্র ]। ইন্টেস্‌টিনাল এপিথেলিয়াম-এর (intestinal epithelium) কোষে বহু মাইক্রো-ভিলাই দেখা যায় এবং এক-একটি কোষে এদের সংখ্যা ৩০00 পর্যন্ত হতে পারে। মাইক্রো-ভিলাইগুলি ইন্টেস্‌টিনাল ভিলাই-এর (intestinal villi) মতই কাজ করে, অর্থাৎ তারা শোষণ-গাত্রের (absorptive surface) বৃদ্ধি ঘটায়। মাইক্রো-ভিলাইগুলি কোন-কোন জায়গায় এন্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটি-কিউলাম-এর (endoplasmic reticulum) সঙ্গে যুক্ত হয়ে সাইটো-প্লাজ্‌মের ভিতর থেকে বাইরে পর্যন্ত বস্তু-চলাচলের নিমিত্ত সরাসরি পথের সৃষ্টি করে।

যেকোন দু'টি সন্নিহিত কোষের মেমব্রেন বা পর্দা একে অপরের থেকে গড়ে ১১০ হতে ১৫০ অ্যাংস্ট্রম দূরে থাকে। কোন-কোন স্থানে দু'টি নিকটবর্তী কোষের প্লাজ্‌মা-পর্দা তাদের মাঝখানে অনেকখানি ফাঁক রেখে দেয়—ঐ ফাঁকা জায়গাগুলিকে বলা হয় ইন্টারসেলুলার স্পেস্‌ (inter-cellular space বা আন্তঃকোষীয় শূন্যস্থান) [ ১২ নং চিত্র ]। আবার কোন-কোন জায়গায় কোষগুলি এত ঘন-সন্নিবিষ্ট থাকে যে প্লাজ্‌মা-মেম-ব্রেন সম্পর্কে অনুসন্ধানপর্বের গোড়ার দিকে মনে হয়েছিল, তারা যেন পরস্পরের গায়ে প্রত্যক্ষভাবে লেগে আছে। কিন্তু, পরবর্তীকালে আরও মনোযোগ-সহকারে নিরীক্ষণ করে দেখা গেছে যে তাদের মধ্যে প্রত্যক্ষ যোগ নেই। বাস্তবিকপক্ষে, সমীপবর্তী দু'টি কোষের প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের পরস্পরের গায়ে লেগে থাকার ঘটনা খুবই বিরল। অবশ্য ১৯৬১ সালে ফসেট (Fawcett) জানিয়েছেন যে, হাইড্রা (*Hydra*), ড্রসোফিলা (*Drosophila*), ইঁদুর, খরগোশ, বিড়াল, শূকর, বানর, মানুষ প্রভৃতি প্রাণিতে স্পার্মাটোজেনেসিস-এর (spermatogenesis বা শুক্রাণুসৃষ্টির) সময় সন্নিহিত কোষগুলিকে পরস্পরের সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে লেগে থাকতে তিনি দেখেছেন। এই সংযোগ তিনি প্রাইমারী স্পার্মাটোসাইট (primary spermatocyte), সেকেন্ডারী স্পার্মাটোসাইট (secondary spermato-cyte) এমনকি স্পার্মাটিড-এও (spermatid) লক্ষ্য করেছেন। তিনি এটাও লক্ষ্য করেছেন, যেকোন দু'টি কোষ কেবলমাত্র একটি স্থানেই এরকম প্রত্যক্ষভাবে সংযুক্ত থাকে।

অনেক প্রাণিকোষে সন্নিহিত কোষের প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনগুলি যেখানে-যেখানে পরস্পরের খুব কাছাকাছি অবস্থান করে, সেসব জায়গায় দু'টি কোষেরই মেমব্রেনের ভিতর দিকের গাত্রটি বেশ পুরু দেখায় (১২ নং চিত্র)। কতকগুলি সূক্ষ্ম সুতার মত অংশ ঐ পুরু স্থানগুলি থেকে কোষের ভিতর দিকে প্রসারিত হয়। সুতার মত অংশগুলিসহ মেমব্রেনের ঐ পুরু স্থানগুলিকে বলা হয় ডেস্‌মোসোম (desmosome) [১২ নং চিত্র]। প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের গায়ে কিছু অতিরিক্ত পদার্থ জমা হওয়ার ফলে ডেস্‌মোসোমের সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে মেমব্রেনের বাইরের গাত্রটি অপরিবর্তিত থাকে।




১২ নং চিত্র :—ডেস্‌মোসোমসহ দু'টি কোষের অংশ এবং একটি ইণ্টারসেলুলার স্পেস দেখানো হয়েছে।

## ফিজিক্যাল প্রপার্টিজ্‌

(Physical properties বা ভৌত ধর্ম)

**সারফেস চার্জ্‌ (*Surface charge* বা পৃষ্ঠ-আধান)ঃ**

জীবন্ত কোষের পৃষ্ঠভাগে বা বহির্গাত্রে যে ইলেক্‌ট্রিক্যাল চার্জ্‌ (electrical charge বা বৈদ্যুতিক আধান) থাকে তা' সহজেই হাতে-

কলমে প্রমাণ করা যায়। একটি সলিউশনের (solution) বা দ্রবণের মধ্যে কিছু জীবন্ত কোষকে রেখে তার মধ্যে দিয়ে বৈদ্যুতিক প্রবাহ (electric current) প্রবাহিত করলে দেখা যায়, কোষগুলি অ্যানোড-এর (anode) দিকে সরে যাচ্ছে। এই পরীক্ষা এটাই সংকেত করে যে কোষ-গাত্রে 'নেগেটিভ চার্জ্' (negative charge বা অপরা-আধান) থাকে। প্রোটোজোয়া (Protozoa), স্পাইরোকীট (Spirochaete) প্রভৃতি কয়েক প্রকারের প্রাণিকোষ এই পরীক্ষাকালে ক্যাথোড-এর (cathode) দিকে সরে যায়। এথেকে বোঝা যায় যে তাদের গাত্রে 'পজিটিভ চার্জ্' (positive charge বা পরা-আধান) থাকে। খুব সম্ভবত প্লাজ্মা-মেমব্রেনের প্রোটীন অংশই এই সারফেস চার্জ্-কে বহন করে।

**সারফেস টেন্সান** (*Surface tension* **বা পৃষ্ঠ-টান**) **:**

কোন একটি বস্তুর অণুগুলি (molecules) পরস্পরকে আকর্ষণ করে একসাথে থাকবার চেষ্টা করে—অণুগুলির এই পরস্পর আকর্ষণকে বলা হয় 'কোহেসান' (cohesion বা সংসক্তি)। এই কোহেসান-এর জন্যই কোন বস্তুর বহির্ভাগের অণুগুলি পরস্পর থেকে পরস্পরকে বিচ্ছিন্ন করার যে-কোন শক্তিকে প্রতিরোধ করে। এই প্রতিরোধ-শক্তিকেই ঐ বস্তুর 'সারফেস টেন্সান' বলা হয়। কোষের বস্তুগুলি এই সারফেস টেন্সানের ফলেই একত্রিত থাকে, তারা বিচ্ছিন্ন হয়ে যায় না। প্লাজ্মা-মেমব্রেন থাকার ফলে কোষের সারফেস টেন্সানের আরও বৃদ্ধি ঘটেছে।

কোন পদার্থের অণুগুলিকে পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন করার জন্য যে শক্তির প্রয়োজন হয় তার দ্বারাই সারফেস টেন্সানের মাপ করা হয়ে থাকে। সারফেস টেন্সান ডাইন-এ (dyne) মাপা হয় এবং এটি প্রকাশ করবার রীতি হচ্ছে, প্রতি সেন্টিমিটার এলাকায় এই টান কত ডাইন। সাধারণ ক্ষেত্রে কোষের সারফেস টেন্সান হচ্ছে প্রতি সেন্টিমিটারে ১ ডাইন বা তার চেয়েও কম।

## কার্য

প্লাজ্মা-মেমব্রেন কোষমধ্যস্থ বস্তুসমূহকে রক্ষা করে, কোষকে একটি নির্দিষ্ট আকার দান করে এবং কোষের ভিতরকার বস্তুগুলিকে সন্নিহিত কোষসমূহ থেকে পৃথক্ করে রাখে। তবে এর প্রধান কাজ হচ্ছে, বাইরে থেকে কোষের ভিতরে এবং ভিতর থেকে কোষের বাইরে বিভিন্ন পদার্থের চলাচলকে নিয়ন্ত্রণ করা। এখন প্রশ্ন হচ্ছে, কি উপায়ে বিভিন্ন বস্তু প্লাজ্মা-

মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে চলাচল করে? এ-ব্যাপারে সম্ভাব্য উপায়গুলি নিম্নে আলোচিত হল।

এক॥ **অস্‌মোসিস** (Osmosis) : প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনকে প্রায়ই সেমি-পার্মিয়েব্‌ল্‌ (semi-permeable) বা আভেদ্য) পর্দা বলা হয়, কেননা, জল এর মধ্যে দিয়ে অপেক্ষাকৃত অল্প-আয়াসে যেতে পারে কিন্তু, বড় অণু-যুক্ত পদার্থগুলি তা পারে না। সেমি-পার্মিয়েব্‌ল্‌ মেমব্রেন তার মধ্যে দিয়ে সল্‌ভেন্ট্‌-কে (solvent বা দ্রাবক) যেতে দেয় কিন্তু সলিউট-কে (solute বা দ্রাব) নয়। প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন সলিউট ও সল্‌ভেন্ট্‌ উভয়কেই তার মধ্যে দিয়ে যেতে দেয়, যদিও সকল সলিউট-কে নয় এবং সবসময়েও নয়। অর্থাৎ, প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের পছন্দমত কোন-কোন সলিউট বা দ্রাব তার মধ্যে দিয়ে চলাচল করতে পারে। এইকারণে এই মেমব্রেনকে 'সিলেক্‌টিভলি পার্মিয়েব্‌ল্‌' (selectively permeable) মেমব্রেন বলাই যুক্তিযুক্ত।

সে যা হোক, জল-এর প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে চলাচল, (১) প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের পার্মিয়েবিলিটি (permeability বা ভেদ্যতা) ও (২) মেমব্রেনের উপর 'সাইটোপ্লাজ্‌ম ও চতুর্দিকস্থ জলীয় পদার্থের অস্‌মোটিক প্রেষ'-এর (transmembrane osmotic pressure) উপর নির্ভরশীল। যেদিকে এই অস্‌মোটিক প্রেষ বেশী সেদিকে জলের অনুপ্রবেশ ঘটতে থাকে।

প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে সলিউট-এর বা দ্রাব-এর চলাচল যে-সমস্ত কারণের উপর নির্ভরশীল সেগুলি হচ্ছে, দ্রাবের (ক) পার্টিশান-কোয়েফিসিয়েন্ট্‌ (partition coefficient বা বিভাগ-গুণাঙ্ক) ও অণুর আকার (size), (খ) কন্‌সেন্ট্রেশান গ্রেডিয়েন্ট্‌ (concentration gradient বা গাঢ়ীভবনের ক্রমোচ্চতা), (গ) চার্জ্‌ (charge বা আধান) এবং (ঘ) অ্যাক্‌টিভ ট্র্যান্স্‌পোর্ট (active transport বা সক্রিয় পরিবহণ)।

(ক) **পার্টিশান-কোয়েফিসিয়েন্ট্‌ ও অণুর আকার** (Partition coefficient and size of molecules) : কোন বস্তুর লিপিড-সলিউবিলিটি (lipid solubility) ও তার ওয়াটার-সলিউবিলিটির (water solubility) অনুপাতকে ঐ বস্তুর 'পার্টিশান-কোয়েফিসিয়েন্ট্‌' বলা হয়। অর্থাৎ, কোন বস্তু যদি সহজে লিপিড-এ দ্রবীভূত হয় তাহলে ঐ বস্তুটির 'পার্টিশান-কোয়েফিসিয়েন্ট্‌' বেশী হবে। পরীক্ষার দ্বারা এটা প্রমাণিত হয়েছে যে, যে সলিউটের পার্টিশান কোয়েফিসিয়েন্ট্‌

যত বেশী সে সলিউটটি তত সহজে কোষের ভিতর প্রবেশ করে। অর্থাৎ, যে সলিউটটি লিপিডে বেশী দ্রবীভূত হয় তা সহজেই প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে পরিবাহিত হতে পারে। অ্যালকোহল (alcohol) নিয়ে এধরণের অনেক পরীক্ষা করা হয়েছে। উচ্চ মলিকিউলার ওয়েট-বিশিষ্ট (molecular weight বা আণবিক গুরুত্ব) অ্যালকোহলগুলি নিম্ন মলিকিউলার ওয়েটবিশিষ্ট অ্যালকোহলগুলির তুলনায় লিপিডে অধিক দ্রবীভূত হয়, এবং এটা দেখা গেছে যে, প্রথমোক্ত অ্যালকোহলগুলি শেষোক্তগুলির তুলনায় দ্রুতগতিতে কোষে প্রবেশ করে।

উপরের বর্ণনা থেকে প্রকাশ পাচ্ছে যে, কোন সলিউটের লিপিডে দ্রবীভূত হবার ক্ষমতাই তার কোষে প্রবিষ্ট হবার নিয়ামক, অর্থাৎ এ-ব্যাপারে মলিকিউলের বা অণুর আকারের কোন গুরুত্ব নেই। কিন্তু এরূপ ধারণা করা ঠিক নয়। প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে চলাচলের ব্যাপারে কোন সলিউটের পার্টিশান কোয়েফিসিয়েণ্ট্ যেমন গুরুত্বপূর্ণ, তার অণুর আকারও তেমনই তাৎপর্যপূর্ণ। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, যদি একই পার্টিশান কোয়েফিসিয়েণ্ট্‌বিশিষ্ট বিভিন্ন বস্তু, যাদের অণুর আকার একই রকমের নয়, নিয়ে পরীক্ষা করা যায় তাহলে দেখা যাবে, ক্ষুদ্র-অণুযুক্ত সলিউটগুলি বৃহৎ-অণুযুক্ত সলিউটগুলির তুলনায় সহজে কোষে প্রবেশ করছে। এ থেকে বোঝা যাচ্ছে যে, কোন সলিউটের অণুর আকার এবং পার্টিশান কোয়েফিসিয়েণ্ট্ উভয়েই তার কোষে প্রবিষ্ট হওয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।

(খ) **কন্‌সেণ্ট্রেশান গ্রেডিয়েণ্ট্** (Concentration gradient বা গাঢ়ীভবনের ক্রমোচ্চতা)ঃ যদি কোন পদার্থের অণু মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে স্বচ্ছন্দে চলাচল করতে পারে, তাহলে অন্যান্য সমস্ত কারণগুলি কন্‌স্ট্যাণ্ট (constant বা ধ্রুবক) থাকলে, তার চলাচলের গতি মেমব্রেনের দু'ধারে বস্তুটির কন্‌সেণ্ট্রেশান-এর পার্থক্যের উপর অর্থাৎ, কন্‌সেণ্ট্রেশান গ্রেডিয়েণ্টের উপর নির্ভর করে। যেধারে পদার্থটির কন্‌সেণ্ট্রেশান বা গাঢ়ীভবন বেশী হয় সেইধারে সলিউটটির অণুর অধিক সমাবেশ ঘটে। ফলে, অধিক-ঘন সলিউশানের বা দ্রবণের দিক থেকে অল্প-ঘন দ্রবণটির দিকে অণুর দ্রুত চলাচল ঘটতে থাকে। এর বিপরীত-ক্রিয়া ঘটে প্রথমটির তুলনায় ধীর গতিতে।

(গ) **চার্জ** (charge বা আধান)ঃ আয়ানগুলির (ions) প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে চলাচল কেবলমাত্র তাদের আকার, পার্টিশান কোয়েফিসিয়েণ্ট্ এবং কন্‌সেণ্ট্রেশান গ্রেডিয়েণ্টের দ্বারাই নিয়ন্ত্রিত হয় না;

তা আরও একটি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল, সেটি হচ্ছে তাদের 'চার্জ্‌'। বহু পরীক্ষার দ্বারা এটি জানা গেছে যে, যে পদার্থের পরমাণুস্থিত চার্জ্‌ যত বেশী তার কোষে প্রবেশ করবার ক্ষমতা তত কম। অর্থাৎ, যে পদার্থের পরমাণু সহজে বৈদ্যুতিক ভারসাম্য হারায় তার কোষে প্রবিষ্ট হবার ক্ষমতা, যে পদার্থের পরমাণু সহজে এই ভারসাম্য হারায় না তার তুলনায় কম।

প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে সোডিয়াম ও পটাশিয়াম-এর আয়নগুলির চলাচল সম্পর্কে অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা হয়েছে। এইসব পরীক্ষা-নিরীক্ষা থেকে দেখা গেছে যে, যদিও উভয় বস্তুর চার্জ্‌-ই সমান তথাপি পটাশিয়াম সোডিয়াম-এর তুলনায় দ্রুতগতিতে কোষে প্রবেশ করে। এই ঘটনাকে এইভাবে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে—জলীয় অবস্থায় পটাশিয়াম-এর পরমাণুর ব্যাস সোডিয়াম-এর পরমাণুর ব্যাসের চেয়ে কম।

(ঘ) **অ্যাক্‌টিভ ট্র্যান্স্‌পোর্ট** (Active transport বা সক্রিয় পরিবহণ)ঃ প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে সলিউট ও সল্‌ভেণ্টের চলাচলের যে কারণগুলি উপরে বর্ণিত হ'ল সেগুলিকে নিষ্ক্রিয় প্রক্রিয়া (passive processes) বলা যেতে পারে। কেন না, ঐসব প্রক্রিয়ায় কোন শক্তি-র (energy) প্রয়োজন হয় না এবং বস্তুগুলি অস্‌মোসিস, পার্টিশান কোয়েফিসিয়েণ্ট্‌, কন্‌সেণ্ট্রেশান গ্রেডিয়েণ্ট্‌ ও চার্জ্‌-এর সাধারণ নিয়ম অনুযায়ী চলাচল করে। বিপরীতক্রমে, কখনও-কখনও সলিউটগুলি অস্‌মোসিস, পার্টিশান কোয়েফিসিয়েণ্ট্‌, কন্‌সেণ্ট্রেশান গ্রেডিয়েণ্ট্‌ ও চার্জ্‌-এর নিয়ম অনুযায়ী যেদিকে তাদের চলা উচিত তার বিপরীত দিকে চলে। এই বিপরীত-যাত্রায় শক্তির প্রয়োজন হয়, তাই একে 'অ্যাক্‌টিভ ট্র্যান্স্‌পোর্ট' বা 'সক্রিয় পরিবহণ' বলা হয়ে থাকে।

এই প্রক্রিয়ায় যে বস্তু পরিবাহিত হয় সেই বস্তুটি মেমব্রেনের কোন রাসায়নিক বস্তুর সঙ্গে মিলিত হয়ে একটি যৌগের (complex) সৃষ্টি করে। মেমব্রেনের বস্তুটিকে বলা হয় 'কেরিয়ার' (carrier) বা 'বাহক' এবং যে বস্তুটি বাহিত হয় তাকে বলা হয় 'ট্র্যান্স্‌পোর্ট্যাণ্ট' (transportant বা বহনযোগ্য বস্তু)। 'কেরিয়ার' মেমব্রেনের বহির্গাত্র থেকে 'ট্র্যান্স্‌পোর্ট্যাণ্ট্‌'-টিকে অন্তর্গাত্র পর্যন্ত বহন করে নিয়ে গিয়ে সেখানে তাকে ছেড়ে দেয় এবং নিজে আবার মেমব্রেনের বহির্গাত্রে ফিরে আসে ও পুনরায় বহনের কাজ শুরু করে। কোষের ভিতর থেকেও কোন-কোন পদার্থ 'কেরিয়ার' বা 'বাহক'-এর দ্বারা একই উপায়ে কোষের বাইরে যেতে পারে।

যদিও কোন 'বাহক'-কে এখনও পর্যন্ত সনাক্ত (identify) করা সম্ভবপর

হয় নি, তবুও তাদের অস্তিত্বের বিশ্বাসযোগ্য প্রমাণ মিলেছে। বহু পদার্থের কোষে প্রবেশ করবার ক্ষমতা তাদের লিপিড-সলিউবিলিটির (lipid solubility) সঙ্গে সমানুপাতিক (linearly proportional)। এ থেকে নির্দেশিত হয় যে, বাহকটি কোন এক প্রকারের 'লিপিড' হতে পারে। আবার এমনও ধারণা করা হয়ে থাকে যে বাহকটি কোন এক প্রকারের এনজাইম (enzyme), কেননা, কোন-কোন কোষের প্লাজ্মা-মেমব্রেনে এনজাইম-এর উপস্থিতি ধরা পড়েছে। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, লোহিত কণিকার মেমব্রেনে 'কোলিনেসটেরেজ' (cholinesterase) এবং প্রোটীন পরিপাকের এনজাইম (proteolytic enzymes) পাওয়া গেছে; পক্ষান্তরে ঈস্ট-কোষের (Yeast cells) প্লাজ্মা-মেমব্রেনের ফস্ফেট (phosphates) ও গ্লুকোজ্-এর প্রতি পার্মিয়েবিলিটি বা ভেদ্যতা, মেমব্রেনে 'ফস্ফেটেজ' (phosphatase) এনজাইম-এর উপস্থিতির সঙ্গে সম্পর্ক-যুক্ত বলে মনে হয়।

পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, 'অ্যাক্টিভ ট্র্যান্স্পোর্ট' কার্য পরিচালনার জন্য 'শক্তি'-র প্রয়োজন। এটা লক্ষ্য করা গেছে যে, যে সকল পদার্থ 'অক্সিডেটিভ ফস্ফোরাইলেশান' (oxidative phosphorylation) ক্রিয়ায় ব্যাঘাত সৃষ্টি করে (যার ফলে উচ্চশক্তিসম্পন্ন ফস্ফেট-বন্ধন, অ্যাডিনোসিন ট্রাইফস্ফেট বা এ-টি-পি সৃষ্টি বাধাপ্রাপ্ত হয়) তারা প্লাজ্মা-মেমব্রেনের পার্মিয়েবিলিটিরও হ্রাস ঘটায়। উপরিউক্ত তথ্য প্রমাণ করে যে, অ্যাক্টিভ ট্র্যান্সপোর্টে 'এ-টি-পি'-র (ATP) বিশেষ ভূমিকা আছে। মেমব্রেনে অবস্থিত 'বাহক'-গুলি কোষের ভিতরে 'ট্র্যান্সপোর্ট্যান্ট্'-কে প্রতিবার ছাড়ার সময়ে কোষের ভিতর থেকে এ-টি-পি সংগ্রহ করে মেমব্রেনের বহির্গাত্রে যায় এবং নিজকার্য সমাধা করে।

দুই ॥ **ফ্যাগোসাইটোসিস** (Phagocytosis) : উচ্চ মলিকিউলার ওয়েট-সম্পন্ন (molecular weight বা আণবিক গুরুত্ব) কঠিন পদার্থগুলি 'ফ্যাগোসাইটোসিস' প্রক্রিয়ায় কোষের ভিতর প্রবেশ করে। ছোট অণুযুক্ত পদার্থও সময়ে-সময়ে এইভাবে প্রবিষ্ট হতে পারে। এই প্রক্রিয়া অ্যামিবা-র (*Amoeba*) খাদ্যগ্রহণের প্রক্রিয়ার মতই। দু'টি সিউডোপোডিয়া (pseudopodia বা ক্ষণপদ) সৃষ্টি করে কোষ বস্তু-কণাটিকে ঘিরে ফেলে। এই-ভাবে প্লাজ্মা-মেমব্রেনের গায়ে একটি ক্ষুদ্র ভেসিক্ল্-এর (vesicle) সৃষ্টি হয়, যার ভিতর চারিদিক থেকে প্লাজ্মা-মেমব্রেন দ্বারা ঘেরা অবস্থায় বস্তু-কণিকাটি থাকে। এর পর ভেসিক্ল্টি প্লাজ্মা-মেমব্রেন থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে কোষের ভিতর পড়ে। রক্তের শ্বেতকণিকা (leucocytes) এই প্রক্রি-

য়ায় ব্যাক্‌টিরিয়া এবং অন্য মৃত কোষ বা তার অংশকে গ্রহণ করে থাকে।

তিন॥ **পিনোসাইটোসিস** (Pinocytosis) ঃ এই প্রক্রিয়া 'ফ্যাগোসাইটোসিস' প্রক্রিয়ারই অনুরূপ। তবে, কঠিন পদার্থের পরিবর্তে 'তরল' পদার্থ যদি ফ্যাগোসাইটোসিস প্রক্রিয়ায় বর্ণিত উপায়ে কোষে প্রবেশ করে তাহলে তাকে 'পিনোসাইটোসিস' বলা হয়। প্রোটীনগুলি এই প্রক্রিয়ায় প্রবিষ্ট হতে পারে।

কোষ যেসব পদার্থ সেক্রিট (secrete বা ক্ষরণ) করে, যেমন, নানাপ্রকার এনজাইম, হর্মোন (hormone) ইত্যাদি, সেগুলি সাধারণত 'বিপরীত ফ্যাগোসাইটোসিস' বা 'বিপরীত পিনোসাইটোসিস' (reverse phago- or pinocytosis) প্রক্রিয়ায় বাইরে আসে। সেক্রিটরী কোষসমূহে (secretory cells) এই প্রক্রিয়াগুলি ঘটতে দেখা গেছে। কোন-কোন সময়ে আবার প্লাজ্মা-মেমব্রেন স্থানে-স্থানে বিচ্ছিন্ন হয়ে কোষের সেক্রিটরী পদার্থসমূহকে বাইরে যেতে দেয়। ঐসব পদার্থ বাইরে যাবার পর প্লাজ্মা-মেমব্রেনের ছিন্নস্থলগুলি পুনর্গঠিত হয়। প্যান্‌ক্রিয়াস (pancreas বা অগ্ন্যাশয়) এবং থাইরয়েড গ্রন্থির (thyroid gland) কোষে শেষোক্ত প্রক্রিয়াটি ঘটতে দেখা গেছে।

# ৫। এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম

## (Endoplasmic reticulum)

কোষের ভিতর অসংখ্য সূক্ষ্ম নালিকা (channels) জালের আকারে ছড়ানো থাকে। এই নালিকাগুলির প্রাচীর রবার্টসন বর্ণিত 'ইউনিট মেমব্রেন' (unit membrane) দ্বারা গঠিত। এই নালিকাগুলিকেই বলা হয় এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম। নিউক্লিয়স থেকে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন অবধি হায়ালোপ্লাজ্‌মের সর্বত্র এরা ছড়ানো থাকে (৫ নং চিত্র)।

১৯৪৭ সালে পোর্টার (Porter) ও তাঁর সহকর্মীরা ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে কোষের মধ্যে এদের অবস্থিতি প্রথম অবলোকন করেন। বর্তমানে স্তন্যপায়ী প্রাণিদের বিভিন্ন টিস্যুর (tissues) জীবন্ত কোষে ফেজ্‌ কন্‌ট্রাস্ট অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যেও এদের দেখা গেছে। এথেকে প্রতীয়মান হয় যে এটি কোষের একটি সুনির্দিষ্ট অঙ্গ (organelle)। উপরন্তু জীবন্ত এবং ফিক্সড্‌ (fixed) উভয়প্রকার কোষেই এদের আকৃতিতে গভীর মিল দেখা যায়। এ ছাড়াও, বিভিন্ন ধরণের কোষে এবং কোষকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করার নিমিত্ত তার ভিতরে প্রয়োজনীয় পরিবর্তন ঘটানোর জন্য ভিন্ন-ভিন্ন পদ্ধতির প্রয়োগ করেও দেখা গেছে যে, প্রতি ক্ষেত্রেই তাদের আকার মোটামুটি একই প্রকারের। অতএব, সাম্প্রতিক-কালের আবিষ্কার হলেও উপরিউক্ত পরীক্ষাসমূহের দ্বারা এদের অস্তিত্ব সম্পর্কে সাধারণ ঐকমত্য প্রতিষ্ঠিত হয়েছে।

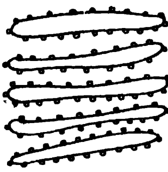
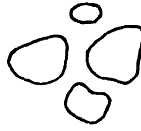
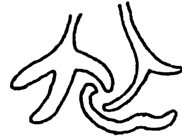
স্তন্যপায়ী প্রাণিদের পরিণত (mature) লোহিত কণিকা ছাড়া অন্যান্য সকল প্রকার কোষেই এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম দেখা যায়।

### মর্‌ফোলজি

### (Morphology বা অঙ্গসংস্থান)

এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম প্রধানত তিনটি রূপে (form) পাওয়া যায়—যথা সিস্টারনি[১] বা ল্যামেলী[২] (cisternae or lamellae), ভেসিক্‌ল্‌ (vesicle) এবং টিউবিউল (tubule) [১৩নং চিত্র]। 'সিস্টারিন' বা 'ল্যামেলা'গুলি লম্বা এবং চ্যাপ্টা ধরণের—প্রতিটি ৪০ থেকে

১ একবচনে 'সিস্টারনা' ও বহুবচনে 'সিস্টারনি' লেখা হয়।
২ একবচনে 'ল্যামেলা' ও বহুবচনে 'ল্যামেলী'।

সিস্টারনি ভেসিক্‌লস্‌ টিউবিউলস্‌

১৩ নং চিত্র :—এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের বিভিন্ন রূপ।

৫০ মিলি-মাইক্রন পুরু এবং প্রায়ই তারা সমান্তরালভাবে গাদা (stack) করে সাজানো থাকে। 'ভেসিক্‌ল্‌'-গুলি সাধারণত গোলাকার হয়ে থাকে এবং তাদের ব্যাস ২৫ থেকে ৫০০ মিলি-মাইক্রন পর্যন্ত হতে পারে। 'টিউবিউল'-গুলি সিস্টারনি ও ভেসিক্‌ল্‌গুলির তুলনায় বহুরূপী (multiformed) এবং তাদের ব্যাস ৫০ থেকে ১০০ মিলি-মাইক্রন অবধি হয়।

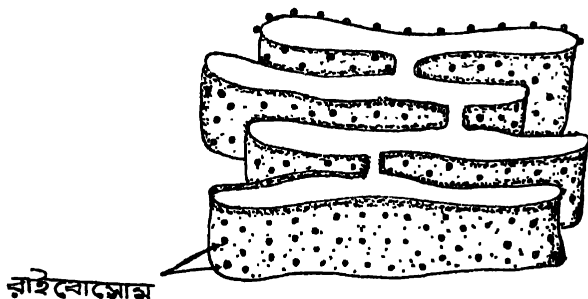
কোন-কোন কোষে অথবা কোষের কোন-কোন অংশে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের সন্নিহিত-অংশগুলি পরস্পর সংযুক্ত হয়ে যায়। সাধারণত সিস্টারনি এবং টিউবিউলগুলিই এইভাবে যুক্ত হয় (৫নং চিত্র)—এদের মেমব্রেনগুলির (membranes) এইরূপ সংযুক্তির ফলে কোষের ভিতর বিভিন্ন বস্তুর চলাচলের উপযোগী লম্বা নালিকাসমূহের (channels) সৃষ্টি হয়।

এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনগুলি প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মতই লাইপোপ্রোটীন (lipoprotein) দ্বারা গঠিত। মেমব্রেনের মধ্যভাগে থাকে লিপিড-অণুর দু'টি স্তর এবং লিপিডকে দু'দিক থেকে ঘিরে থাকে প্রোটীন (১০নং চিত্র)। এই মেমব্রেনের পার্মিয়েবিলিটি (permeability) এবং এর মধ্যে দিয়ে বিভিন্ন বস্তুর চলাচলের প্রক্রিয়া প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মতই।

এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের তিনটি রূপই একই কোষের ভিতর একই সাথে দেখা যেতে পারে অথবা একটি কোষে বিভিন্ন সময়ে তাদের আবির্ভাব ঘটতে পারে। তবে নির্দিষ্ট-কার্য সমাধা করে এমন ধরণের কোষে সাধারণত নির্দিষ্ট-রূপের এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম দেখা যায়। যেমন, সেক্রিটরী কোষসমূহে (secretory cells) দেখা যায় সিস্টারনি এবং অন্যান্য কোষে টিউবিউল। স্ট্রায়েটেড বা রেখাঙ্কিত পেশীসমূহের কোষে (striated muscle cells) এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের

টিউবিউলগুলি জালের আকারে বিন্যস্ত থাকে, ঐ জালিকাকে বলা হয় সারকোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম (sarcoplasmic reticulum)। স্মরণ রাখতে হবে যে, নির্দিষ্টকার্য-সমাধাকারী কোষে নির্দিষ্ট-রূপের এণ্ডো-প্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম দেখা গেলেও তাদের বিন্যাসে (arrangement) প্রজাতিগত (specific) ভিন্নতা লক্ষ্য করা যায়। যেমন, ইঁদুরের প্যান্‌ক্রিয়াস-এর কোষে সিস্টারনির বিন্যাস খরগোশের প্যান্‌ক্রিয়াসের কোষে তাদের বিন্যাসের তুলনায় সামান্য ভিন্ন ধরণের।

এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের কোন-কোন উপাদানের (component) মেমব্রেনের বহির্গাত্রে অতি ক্ষুদ্র বিন্দুর মত কতকগুলি অংশ থাকে, তারা 'রাইবোনিউক্লিওপ্রোটীন বিন্দু' বা রাইবোসোম (ribosome) নামে পরিচিত (১৪নং চিত্র)। প্রতিটি রাইবোসোম-এর ব্যাস ১০০—১৫০




১৪ নং চিত্র :—এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের তিন-মাত্রাযুক্ত (three dimensional) চিত্র [নক্সাকার]।

অ্যাংস্ট্রম এবং শতকরা ৫০ ভাগ রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড (ribonucleic acid বা RNA) ও শতকরা ৫০ ভাগ প্রোটীন দ্বারা তারা গঠিত। সাধারণত এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের সিস্টারনা (cisterna) উপাদানগুলির বহির্গাত্রেই রাইবোসোমের অবস্থান। রাইবোসোম থাকার ফলে এদের বহির্গাত্রটি এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের অন্যান্য উপাদান, যথা, ভেসিক্‌ল্‌ ও টিউবিউল-এর তুলনায় অমসৃণ (rough)। এই কারণে এদের 'অমসৃণ গাত্রবিশিষ্ট এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম'-ও (rough surfaced endoplasmic reticulum) বলা হয়। যেসব কোষ অ্যামিনো অ্যাসিডের সংযোগে প্রোটীন সিন্থেসিস-এ বা প্রোটীন-সংশ্লেষণে সক্রিয়

অংশ গ্রহণ করে তাদের ভিতর অমসৃণ-গাত্রবিশিষ্ট এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম দেখা যায়। জৈব-রাসায়নিক গবেষণার দ্বারা এটি প্রমাণিত হয়েছে যে 'প্রোটীন সিন্থেসিস'-এ রাইবোসোম খুবই প্রয়োজনীয়। আরও সঠিকভাবে প্রকাশ করতে হলে বলা উচিত, রাইবোসোম-ই সাইটোপ্লাজ্‌মের সেই উপাদান যা' 'প্রোটীন সিন্থেসিস' ঘটিয়ে থাকে। অনেক কোষে রাইবোসোম এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের গায়ে যুক্ত না থেকে হায়ালোপ্লাজ্‌মের মধ্যে মুক্ত অবস্থায়ও থাকতে পারে, যেমন, উদ্ভিদের মেরিস্‌টেমেটিক টিস্যুর (meristematic tissuc বা ভাজক কলা) কোষসমূহে।

সেক্রিটরী কোষ, নার্ভ কোষ এবং আরও যেসব কোষ জীবদেহে বিভিন্ন বস্তুর সৃষ্টিতে সক্রিয় অংশ গ্রহণ করে তাদের মধ্যে অমসৃণ-গাত্রবিশিষ্ট এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের অত্যধিক বিকাশ (development) লক্ষ্য করা যায়। এইসব কোষের এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামকে অনেক সময় **আর্গাস্টোপ্লাজ্‌ম** (ergastoplasm) বলা হয়। অর্থাৎ, 'আর্গাস্টোপ্লাজ্‌ম' শব্দের দ্বারা রাইবোসোমযুক্ত এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের অত্যধিক বিকাশকে বোঝানো হয়ে থাকে। 'আর্গাস্টোপ্লাজ্‌ম' এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের একটি বিশিষ্ট রূপ। কোষের ভিতর প্রোটীন সিন্থেসিসের স্থান হিসাবে এর সবিশেষ গুরুত্ব আছে।

কোন-কোন কোষে আরও কতকগুলি বিশিষ্ট রূপের মেমব্রেন-উপাদান (membranous structures) দেখা গেছে যাদের সঙ্গে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের গঠনের অনেক মিল আছে। মেমব্রেন-উপাদানের এইসব বিশিষ্ট রূপের মধ্যে একটি হচ্ছে 'গল্‌গি যন্ত্র' (Golgi apparatus)। কোন-কোন কোষে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনের সঙ্গে গল্‌গি-র মেমব্রেনের নিরবচ্ছিন্নতা (continuity) ধরা পড়েছে। এছাড়া তাদের গঠন এবং কাজের মধ্যেও গুরুত্বপূর্ণ মিল দেখা যায়। তৎসত্ত্বেও এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের সঙ্গে গল্‌গি-র একাত্মতা সম্পর্কে এখনও সন্দেহমুক্ত হওয়া যায় নি ; যদিও অনেকের মতে গল্‌গি এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম থেকেই উদ্ভূত।

গল্‌গি-র চেয়ে আরও বিশিষ্ট-রূপের মেমব্রেন-উপাদান হচ্ছে, **মায়েলয়েড বডি** (myeloid body)। রেটিনা-র (retina বা অক্ষিপট) বহির্ভাগের পিগ্‌মেন্টযুক্ত (pigmented বা রঞ্জকযুক্ত) কোষসমূহের মধ্যে এদের পাওয়া যায়। কিছু ভেসিক্‌ল্‌ ও টিউবিউল খুব কাছাকাছি থেকে, বলা যেতে পারে প্রায় গায়ে-গায়ে লেগে থেকে, এক-একটি 'মায়েলয়েড বডি'-র

সৃষ্টি করে। এরা কোষের বেস্‌মেন্ট মেমব্রেন-এর (basement membrane) কাছে থাকে। মায়েলয়েড বডিকে সাইটোপ্লাজ্‌মের একটি পৃথক্‌ অঙ্গ বলার চেয়ে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের একটি বিশিষ্ট রূপ হিসাবে ধরাই যুক্তিযুক্ত। এদের অবস্থান থেকে অকাট্যভাবে নির্দেশিত হয় যে এরা আলোকসঞ্জাত উত্তেজনা গ্রহণে (photoreception) কোন এক ভূমিকা গ্রহণ করে থাকে।

কোষের আর একটি বিশিষ্ট ধরণের মেমব্রেন-উপাদান হচ্ছে, **অ্যানুলেট ল্যামেলী** (annulate lamellae)। 'আর্বেসিয়া' (*Arbacia*) নামক সামুদ্র আর্চিন-এর (sea urchin) ডিমে এদের অস্তিত্ব প্রথম ধরা পড়ে। কতকগুলি প্রাণির অপরিণত ডিমে এবং দ্রুত বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয় এমন কোন-কোন কোষেও অধুনা এদের দেখা গেছে। অ্যানুলেট ল্যামেলীর মেমব্রেন এবং এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনের মধ্যে উল্লেখযোগ্য পার্থক্য দেখা গেলেও, উভয়ের উৎপত্তি একইভাবে হয়ে থাকে বলে মনে হয়। প্রতিটি অ্যানুলেট ল্যামেলা (ল্যামেলা=একবচন; ল্যামেলী=বহুবচন) দু'টি সমান্তরাল মেমব্রেন দ্বারা গঠিত এবং মেমব্রেন-দু'টি উভয় প্রান্তে একে অপরের সঙ্গে যুক্ত। দু'টি মেমব্রেনের মাঝখানে ২০—৪০ মিলি-মাইক্রন ফাঁক থাকে। এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের সঙ্গে অ্যানুলেট ল্যামেলীর দু'টি উল্লেখযোগ্য পার্থক্য হচ্ছে, (১) অ্যানুলেট ল্যামেলীর মেমব্রেন-গাত্রে সূক্ষ্ম-সূক্ষ্ম ছিদ্র থাকে, কিন্তু এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেন-গাত্রে কোন ছিদ্র থাকে না; (২) অ্যানুলেট ল্যামেলীর মেমব্রেন-গাত্রে রাইবোসোম থাকে না, তথাপি মেমব্রেনগুলিতে রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড (RNA) পাওয়া যায়, অপরপক্ষে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনগুলি কেবল লাইপোপ্রোটীন দ্বারা গঠিত—তাতে রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড থাকে না। কোন-কোন কোষে অ্যানুলেট ল্যামেলাগুলি গাদা-র (stack) আকারে নিউক্লীয়-মেমব্রেনের নিকট অবস্থান করে, আবার কোন-কোন কোষে তারা গাদা-র আকারে না থেকে সাইটোপ্লাজ্‌মের অন্যান্য অংশে ছড়িয়ে থাকে।

## কার্যাবলী

রূপ (form) এবং অবস্থান অনুযায়ী এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম ভিন্ন ভিন্ন কার্য সম্পাদন করে। নীচে তাদের কার্যাবলীর রূপরেখা দেওয়া হ'ল।

১। এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেন-গাত্রগুলি সাইটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে মেটাবলিক বা বিপাকীয় কার্যাদি সংঘটনের স্থল হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

তাদের গায়ে নানা প্রকার এনজাইম (enzyme) সংযুক্ত থাকতে পারে। এরূপ ব্যবস্থা, যে বস্তুর উপর এনজাইমটি ক্রিয়া করে তার সঙ্গে এনজাইম-এর মিলন সহজসাধ্য করে। এনজাইমগুলি হায়ালোপ্লাজ্‌মের পরিবর্তে কোন মেমব্রেন-গাত্রে যুক্ত থাকলে অধিক দক্ষতার সঙ্গে তাদের কার্য সমাধা করতে পারে।

২। এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনঘেরা শূন্যস্থানগুলিতে কোষের সেক্রিটরী বস্তুসমূহ (secretory products) সংগৃহীত হয়। অর্থাৎ, এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম কোষের সিন্থেটিক বা সংশ্লেষিত বস্তুসমূহকে (synthetic products) হায়ালোপ্লাজ্‌ম থেকে পৃথক্ করে সেগুলিকে সঞ্চিতাবস্থায় রাখে।

৩। সঞ্চিত বস্তুগুলি উপযুক্ত সময়ে নালিকাসমূহের মধ্যে দিয়ে কোষের অন্যস্থানে অথবা কোষের বাইরে পরিবাহিত হয়। অন্যভাবে বলা যেতে পারে যে, নালিকাগুলি কোষের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে অথবা কোষ থেকে কোষের বাইরে সেক্রিটরী বস্তুসমূহের চলাচলের পথ হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

৪। এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনের সঙ্গে কোষস্থ অন্যান্য অঙ্গের (organelles) মেমব্রেনের গঠনের মিল থেকে প্রতীয়মান হয় যে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম থেকে ঐসব অঙ্গের সৃষ্টি হয়ে থাকে। কোষ-বিভাজনের (cell division) সময়ে নিউক্লিয়ার মেমব্রেন গঠনে এর যে একটি ভূমিকা আছে তা' গবেষণার দ্বারা প্রতিষ্ঠিত হয়েছে।

৫। সারকোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম, যা' এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউ-লামেরই একটি বিশিষ্ট ধরণের বিন্যাস (arrangement), তা' কোষ-মধ্যে উত্তেজনা চলাচলে সহায়তা করে।

উপরে যে পাঁচটি কাজের রূপরেখা দেওয়া হয়েছে তাদের সম্পর্কে একটু বিস্তারিত আলোচনা করা প্রয়োজন। প্রথম দফায় বলা হয়েছে যে, মেমব্রেন-গাত্রগুলি কোষের মেটাবলিক কার্যাদি সংঘটনের স্থল। সত্যিই যে মেমব্রেন-গাত্রগুলি এইসব কাজে ব্যবহৃত হয় তা' গবেষণার মাধ্যমে এবং আরও নানা উপায়ে বোঝা গেছে। তেজস্ক্রিয় (radio-active) বস্তুর দ্বারা চিহ্নিত অ্যামিনো অ্যাসিড (অর্থাৎ, কার্বন ১৪, নাইট্রোজেন ১৫, সালফার ৩৫ প্রভৃতির দ্বারা চিহ্নিত অ্যামিনো অ্যাসিড) কোষের মধ্যে প্রবেশ করিয়ে দেখা গেছে যে তারা রাইবোসোমযুক্ত এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনের সঙ্গে গিয়ে মেলে। এ থেকে বোঝা যায় যে মেমব্রেন-গাত্রে প্রোটীন সিন্থেসিস হয়। যদিও এটি সুস্পষ্টভাবে প্রমাণিত হয়েছে যে মেমব্রেন-

গাত্রস্থ রাইবোসোম-ই প্রোটীন সিন্থেসিস করে থাকে, তবুও এটা বলা ঠিক হবে না যে এ-ব্যাপারে মেমব্রেনগুলি একেবারেই অপ্রয়োজনীয়। কেননা, এটা দেখা গেছে যে হায়ালোপ্লাজমে অবস্থিত রাইবোসোমগুলির তুলনায় মেমব্রেনগাত্রস্থ রাইবোসোমগুলি প্রোটীন সিন্থেসিসে অধিকতর দক্ষ।

প্রোটীন সিন্থেসিসের কাজ ছাড়াও মেমব্রেনগাত্রে যে আরও নানা প্রকারের মেটাবলিক ক্রিয়া ঘটে থাকে তা' অনুমান করার মত যথেষ্ট কারণ আছে। কোলেস্টেরল (cholesterol), আর্গোস্টেরল (ergosterol) এবং বিভিন্ন হর্মোন, যথা, প্রোজেস্টেরন (progesterone), টেস্টোস্টেরন (testosterone) প্রভৃতি স্টেরয়েড১ (steroid) পদার্থগুলি যেসব কোষে সৃষ্টি হয় তাদের ভিতর মসৃণ গাত্রবিশিষ্ট অর্থাৎ রাইবোসোমবিহীন এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকিউলাম, বিশেষ করে তার টিউবিউল উপাদানগুলিকে দেখা যায়। লিভারের বা যকৃতের গ্লাইকোজেন (glycogen) সংরক্ষণকারী কোষগুলিতে এবং রেটিনার পিগমেণ্টযুক্ত (pigmented) কোষগুলিতে, যেগুলির মধ্যে ভাইটামিন 'এ'-র (vitamin A) মেটাবলিজমের ফলে ভিসুয়াল পিগমেণ্ট (visual pigments বা দৃষ্টিসম্বন্ধীয় রঙ্গক) সৃষ্টি হয়, সেগুলিতে মসৃণ গাত্রবিশিষ্ট টিউবিউল উপাদানগুলি পাওয়া যায়। এ ছাড়াও, এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনগাত্রে এবং ভিতরকার শূন্যস্থানে বিভিন্ন এনজাইমের যথা, অ্যাডিনোসিন ট্রাইফসফেটেজ (adenosine triphosphatase), গ্লুকোজ-৬-ফসফেটেজ (glucose-6-phosphatase) ডি-পি-এন-এইচ সাইটোক্রোম সি রিডাকটেজ (DPNH cytochrome c reductase) এবং কোলেস্টেরল সৃষ্টির জন্য প্রয়োজনীয় এনজাইম-

১ রাসায়নিক গঠনের দিক থেকে সাদৃশ্যযুক্ত, কিন্তু ভিন্ন-ভিন্ন বায়োলজিক্যাল (biological) বা জীবন-সংক্রান্ত কার্য সম্পাদনকারী পদার্থসমূহ 'স্টেরয়েড' রূপে পরিচিত, যথা, পৈত্তিক অম্ল (bile acids), ভাইটামিন ডি (vitamin D), শুক্রাশয় (testis), ডিম্বাশয় (ovary) এবং অ্যাড্রিনাল কর্টেক্স (adrenal cortex) থেকে ক্ষরিত হর্মোনসমূহ ইত্যাদি। এরা সংপৃক্ত হাইড্রোকার্বন (saturated hydrocarbon)—১৭টি কার্বন-এর পরমাণু এদের ভিতর পাওয়া যায় এবং ঐগুলি চারটি ঘন-সন্নিবিষ্ট বলয়ের (ring) আকারে সাজানো থাকে।

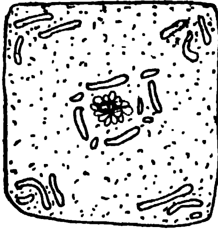
স্টেরলগুলির (sterols), যথা, কোলেস্টেরল, আর্গোস্টেরল ইত্যাদির গঠন স্টেরয়েডগুলি থেকে কিছুটা পৃথক্ ধরণের। এদের মধ্যেও কার্বন-এর পরমাণুগুলি স্টেরয়েড-এর মত চারটি ঘন-সন্নিবিষ্ট বলয়ের আকারে সাজানো থাকে—তদুপরি এদের মধ্যে থাকে একটি লম্বা পার্শ্ব-শৃঙ্খল (side-chain) এবং একটি 'কোহল গোষ্ঠী' (alcohol group)।

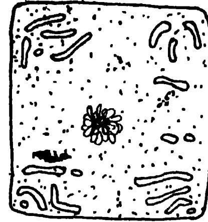
গুলির অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়েছে। উপরিউক্ত তথ্যাদি থেকে একটিমাত্র সিদ্ধান্তেই উপনীত হওয়া যায়; তা হচ্ছে, এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম কোষের মেটাবলিজ্‌ম-এ সক্রিয় অংশ গ্রহণ করে।

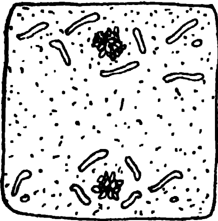
উপরের ২নং এবং ৩নং দফায় বলা হয়েছে যে, এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মধ্যে কোষের সেক্রিটরী বস্তুগুলি সংগৃহীত হয় এবং এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম মধ্যস্থ নালিকাগুলি ঐসব বস্তুর চলাচলের পথ হিসাবে ব্যবহৃত হয়। প্যান্‌ক্রিয়াসের কোষগুলির মেটাবলিক কার্যাদি সম্পর্কে অনুসন্ধান চালিয়ে তাদের ভিতর 'পরিপাক-ক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় এনজাইমগুলির সৃষ্টির সময়ে ও তার পরে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের আচরণ সম্পর্কে বিশদ ধারণা লাভ করা গেছে। প্যান্‌ক্রিয়াসের যেসব কোষে পরিপাক-ক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় এনজাইমগুলির সৃষ্টি হয়, সেগুলির মধ্যে 'সিস্টারনা' (cisterna) উপাদানগুলির গায়ে প্রচুর রাইবোসোম যুক্ত থাকে। কতিপয় ছোট-ছোট গ্র্যানিউল (granules) বা দানা ধীরে-ধীরে এইসব সিস্টারনার মধ্যে জমা হতে দেখা যায়, ফলে সিস্টারনাগুলি কিছুটা স্ফীত হয়। এইভাবে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামরূপী মেমব্রেনতন্ত্র কোষ থেকে ক্ষরিত (secreted) বস্তু, এনজাইম-এর পূর্বসূরী (precursor), 'প্রোজাইমোজেন দানা'-র (prozymogen granules) ভাণ্ডারে পরিণত হয়। পরে গল্‌গি-যন্ত্রের কাছে, মসৃণ মেমব্রেনঘেরা ছোট-ছোট ভেসিক্‌ল্‌-এর (vesicle) মধ্যে 'জাইমোজেন দানা'-র (এরাও এনজাইম-এর পূর্বসূরী) আবির্ভাব ঘটে। উপরিউক্ত পর্যবেক্ষণ থেকে এরূপ প্রতীয়মান হয় যে, সিস্টারনিমধ্যস্থ 'প্রোজাইমোজেন দানা' এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের নালিকাগুলির মধ্যে দিয়ে গল্‌গি-অঞ্চলে বাহিত হয়। এ-ছাড়াও, স্থানে-স্থানে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনের সঙ্গে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের নিরবচ্ছিন্নতা (continuity) এটাই ইঙ্গিত করে যে, কোষ থেকে কোষের বাইরে এবং কোষের বাইরে থেকে ভিতরে বিভিন্ন বস্তুর চলাচলের পথ হিসাবে তারা ব্যবহৃত হয়। নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের সঙ্গেও এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম যুক্ত থাকে। এই সংযুক্তির ফলে যে পথের সৃষ্টি হয় তার মধ্যে দিয়ে নিউক্লিয়স থেকে জীন-এর (gene) ক্রিয়ার দ্বারা উদ্ভুত বস্তুসমূহ সাইটোপ্লাজ্‌মে প্রবাহিত হয়।

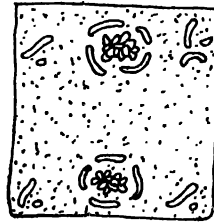
৪র্থ দফায় বলা হয়েছে যে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম থেকে কোষস্থ অন্যান্য মেমব্রেনময় অঙ্গের সৃষ্টি হওয়া অসম্ভব নয়। যদিও প্রতিটি মেমব্রেনময় অঙ্গই যে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম থেকে সৃষ্টি হয় তা'

এখনও যথাযথভাবে প্রমাণিত হয় নি, তথাপি কোষ-বিভাজনের সময় 'নিউক্লিয়ার মেমব্রেন' গঠনে এর যে একটি বিশেষ ভূমিকা আছে তা' গবেষণার দ্বারা প্রতিষ্ঠিত হয়েছে। এটা দেখা গেছে যে, কোষ-বিভাজনের প্রথম অবস্থায় নিউক্লিয়ার মেমব্রেন ভেঙ্গে গিয়ে কতকগুলি ছোট-ছোট ভেসিক্‌ল্‌ ও ল্যামেলা-য় রূপান্তরিত হয় এবং ঐগুলি কোষের দুই মেরু ও পরিধির দিকে চলে যায় (১৫ নং চিত্র)। এইসময়ে তাদের এন্ডো-


(ক)


(খ)


(গ)


(ঘ)

১৫ নং চিত্র :—কোষ-বিভাজনের সময় এন্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম থেকে নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের সৃষ্টি।

প্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের উপাদানগুলি থেকে পৃথক্‌ভাবে চেনা যায় না। কোষ-বিভাজনের শেষ-লগ্নে, যখন নতুন ক্রোমোসোমগুলি মেরুর নিকট জমা হতে থাকে; তখন কোষের মেরুপ্রান্ত থেকে নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের ভাঙ্গা অংশগুলির সঙ্গে এন্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের কিছু উপাদানও এসে ক্রোমোসোমগুলির চারিদিকে জমা হয়। ক্রমে তারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে নিউক্লিয়ার মেমব্রেন সৃষ্টি করে।

৫ম দফায় বর্ণিত কাজটি যদিও এখনও পুরাপুরি প্রমাণিত হয় নি, তথাপি তা' একেবারেই অসম্ভব বলে উড়িয়ে দেওয়াও যায় না। ভলান্‌-

টারি মাসল্‌স্‌ (voluntary muscles) বা ঐচ্ছিক পেশীসমূহের কোষে সারকোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামগুলির বিশেষ বিন্যাস দ্বারা এটিই নির্দেশিত হয় যে তারা কোষের ভিতরে উত্তেজনা চলাচলে সাহায্য করে। নার্ভ-তন্ত্রের মাধ্যমে বৈদ্যুতিক উত্তেজনা (electrical impulses) পেশীগুলিতে যায় এবং তথায় ঐ উত্তেজনা একটি প্রতিক্রিয়া ঘটায় অর্থাৎ, পেশীগুলি ঐ উত্তেজনায় সাড়া দেয়। যেহেতু পেশীগুলি কোষের সমন্বয়ে গঠিত, অতএব এটাই স্বাভাবিক যে, কোন উত্তেজনা কোষগুলির মধ্যে দিয়ে বাহিত হয়ে তবেই সমগ্র পেশীদেহে উত্তেজনাসঞ্জাত প্রতিক্রিয়াটি সৃষ্টি করে। মেমব্রেন উপাদানগুলি কিছুটা বৈদ্যুতিক গুণ-সমন্বিত হওয়ায় তারা কোষের ভিতর বৈদ্যুতিক-উত্তেজনা চলাচলে সহায়তা করে, এই ধারণাটি যুক্তিগ্রাহ্য বলে মনে হয়।

## উৎপত্তি

অপরিণত কোষে নিউক্লিয়ার মেমব্রেন থেকে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের সৃষ্টি হয় বলে অনুমান করা হয়ে থাকে। আম্ফিবিয়ার ভ্রূণ-এর (amphibian embryo) ডেভেলপ্‌মেন্ট (development বা ক্রমবর্ধন) পর্যবেক্ষণের দ্বারা বোঝা গেছে যে এই অনুমানের পিছনে যুক্তি আছে। ভ্রূণে যেসব কোষ থেকে নোটোকর্ড-এর (notochord) সৃষ্টি হয়, লক্ষ্য করা গেছে যে তাদের সাইটোপ্লাজ্‌মে প্রথমাবস্থায় কোন অঙ্গই (organelle) থাকে না। নোটোকর্ড সৃষ্টির সময় ঐসব কোষের ভিতর কয়েকটি পরিবর্তন ঘটতে দেখা যায়। ঐ পরিবর্তনগুলির মধ্যে একটি হচ্ছে, নিউক্লিয়ার মেমব্রেন থেকে কতকগুলি গহ্বরের উৎপত্তি। নিউক্লিয়ার মেমব্রেন স্তর দু'টির মধ্যেকার শূন্যস্থানটির বৃদ্ধির ফলেই ঐ গহ্বরগুলির সৃষ্টি হয়। এর অল্প পরেই নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের কাছে ছোট-ছোট কতকগুলি ভেসিক্‌ল্‌-এর সৃষ্টি হতে দেখা যায়। উপরিউক্ত পর্যবেক্ষণ এটিই ইঙ্গিত করে যে নিউক্লিয়ার মেমব্রেন থেকেই এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের সৃষ্টি হতে থাকে।

# ৬। গল্‌গি

## (Golgi)

১৮৯৮ খ্রীস্টাব্দে ক্যামিলো গল্‌গি (Camilo Golgi) নামে ইটালী-দেশীয় একজন বৈজ্ঞানিক বিড়াল ও একধরণের পেঁচার (barn owl) নার্ভ-সেলকে সিল্‌ভার নাইট্রেট (silver nitrate) ও অস্‌মিয়াম টেট্র-ক্সাইড (osmium tetroxide) দ্বারা স্টেন্‌ বা রঞ্জিত করে তাদের ভিতর সূত্রবৎ বস্তুর দ্বারা গঠিত জালের মত (net-like) একটি অংশ দেখতে পান। ঐ অংশটিই পরবর্তীকালে 'গল্‌গি দেহ' (Golgi body) নামে পরিচিতি লাভ করে। সেলের ভিতর এই অঙ্গটির (organelle) অস্তিত্ব অবশ্য সর্বপ্রথম লক্ষ্য করেন এল্‌. সেন্ট্‌. জর্জ (L. St. George) ১৮৬৭ খ্রীস্টাব্দে।

অতীতে গল্‌গি-কে ঘিরে যত বিতর্কের সৃষ্টি হয়েছিল সেলস্থ অন্য কোন অঙ্গকে নিয়ে তেমনটি হয়নি। তখনকার দিনে একে সেলস্থ একটি অঙ্গ বলে স্বীকার করতেই অনেকে রাজী হন নি। তাঁদের মতে এটি ছিল, সেল-কে ফিক্স্‌ করার (fixation) জন্য সম্পাদিত বিভিন্ন প্রক্রিয়া থেকে উদ্ভূত বস্তু।

অবশ্য অতীতকালের এইসব বিতর্কের মূলে ছিল, সাইটোপ্লাজ্‌মে অবস্থিত বিভিন্ন বস্তুকে দেখবার জন্য শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ও তাদের অস্তিত্ব প্রমাণের জন্য সূক্ষ্ম-কলাকৌশলের একান্ত অভাব। এর উপর ছিল অঙ্গটির চেহারার অসামঞ্জস্য। বিভিন্ন প্রাণিতে, শুধু তাই নয়, একই প্রাণির বিভিন্ন সেল-এ তাদের আয়তন (size), সাধারণ মর্‌-ফোলজি (general morphology) এবং অবস্থান ভিন্ন-ভিন্ন ধরণের। আবার, মেরুদণ্ডী এবং অমেরুদণ্ডী প্রাণিতে এই অঙ্গটির মধ্যে এত উল্লেখযোগ্য ধরণের পার্থক্য লক্ষিত হয়েছিল যে দুই প্রাণিগোষ্ঠীতে তাদের সাইটোপ্লাজ্‌মস্থ দু'টি পৃথক্‌ অঙ্গ রূপে মনে করা হয়েছিল। অধিকন্তু, গল্‌গি-কে যেমন জালের মত অঙ্গ বলে অতীতে বর্ণনা দেওয়া হ'ত, জীবন্ত সেলে সেরূপ জালের মত কোন অঙ্গ দেখা যায় নি।

গল্‌গি-র অস্তিত্ব সম্পর্কে উপরিউক্ত নানা ধরণের অনিশ্চয়তার মাঝেও একটি উল্লেখযোগ্য বিষয় ছিল, অধিকাংশ প্রাণিসেলেই লক্ষ্য করা গিয়ে-ছিল যে সাইটোপ্লাজ্‌মের একটি অঞ্চল সিল্‌ভার নাইট্রেট অথবা অস্‌-

মিয়াম টেট্রক্সাইড প্রয়োগে কৃষ্ণবর্ণ হয়ে যায়। অনেক গবেষকই সেলের এই অঞ্চলটিকে সনাক্ত করতে সমর্থ হয়েছিলেন, কিন্তু এই অঞ্চলটি যেসব উপাদান দ্বারা গঠিত বলে তাঁরা বর্ণনা দিয়েছিলেন তা সর্ব-ক্ষেত্রে একই রকমের ছিল না। এটা লক্ষ্য করা গিয়েছিল যে, গল্‌গির গঠনের এই অমিল ভিন্ন ভিন্ন ধরণের সেল ও তাদের পরীক্ষা করার জন্য ভিন্ন-ভিন্ন প্রক্রিয়ার প্রয়োগ ও ভিন্ন-ভিন্ন ধরণের অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহারের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত। বেকার (Baker) সুদান ব্ল্যাক (sudan black) রঙ দিয়ে উক্ত অঞ্চলটিকে স্টেন করে পরীক্ষা করেন এবং প্রস্তাব করেন যে, অঙ্গটির চেহারা (appearance) তার কার্যদশার উপর অনেকাংশে নির্ভরশীল। অর্থাৎ, অঙ্গটি যখন কর্মব্যস্ত থাকে তখন তার চেহারায় একের পর এক পরিবর্তন ঘটতে থাকে।

চেহারার অত্যধিক গরমিলের ফলে এই অঙ্গটি বিজ্ঞান-সাহিত্যে নানা নামে চিহ্নিত হয়ে আছে, যথা, গল্‌গি বডি (Golgi body), গল্‌গি সাব্‌স্ট্যান্স (Golgi substance), গল্‌গি অ্যাপারেটাস (Golgi apparatus), গল্‌গি কম্‌প্লেক্স্ (Golgi complex), লাইপোকন্‌ড্রিয়া (lipochondria), ডিক্‌টিওসোম (dictyosome), ইডিওসোম (idiosome) ইত্যাদি। বর্তমানে মেরুদণ্ডী প্রাণিতে এই অঙ্গটিকে গল্‌গি এবং অমেরুদণ্ডী প্রাণিতে ডিক্‌টিওসোম বলা হয়ে থাকে।

গল্‌গি বা ঐ-জাতীয় কোন বস্তুর অস্তিত্বের অতি বিশ্বাসজনক প্রমাণ পাওয়া গেছে জীবন্ত স্পার্মাটোসাইট (spermatocyte) ও স্পার্মাটিড-কে (spermatid) পরীক্ষার মাধ্যমে। এইসব সেলে দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রের (light microscope) সাহায্যেই নিউক্লিয়সের সন্নিকটে এদের দেখা গেছে।

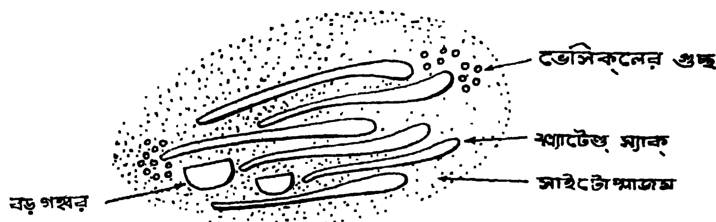
## মর্‌ফোলজি

(Morphology বা অঙ্গসংস্থান)

বর্তমানে এটা স্পষ্টভাবে বোঝা গেছে যে, গল্‌গিকে দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে নির্ভুলভাবে পর্যবেক্ষণ করা সম্ভব নয়। কেননা, সেলকে এই ধরণের অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করার জন্য যেসকল প্রক্রিয়া সম্পাদিত হয় [ যথা, ফিক্সেশান (fixation) ও স্টেনিং (staining) ] তাতে গল্‌গির চেহারার অনেক পরিবর্তন ঘটে; ভিন্ন-ভিন্ন ধরণের প্রক্রিয়া সম্পাদনের ফলে গল্‌গিরও ভিন্ন-ভিন্ন রূপ প্রকাশ পায়।

সাম্প্রতিককালে, ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহারের ফলে 'গল্‌গি বিতর্ক' অনেকাংশে দূরীভূত হয়েছে। এই যন্ত্রের সাহায্যে বিভিন্ন ধরণের নানা সেল থেকে গল্‌গির সম্পর্কে যেসব তথ্য পাওয়া গেছে তাদের মধ্যে যথেষ্ট মিল দেখা যায়। যদিও একধরণের সেল থেকে আর এক-ধরণের সেলে এদের মধ্যে সামান্য পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়, তথাপি এদের একটি নির্দিষ্ট গঠনশৈলী (definite organization) আছে যা প্রতি সেলেই সচরাচর দৃষ্টিগোচর হয়। গল্‌গির চেহারা সাধারণত কোন্ প্রকারের সেলে এর অবস্থান (occurrence) তার চেয়েও, এর নিজস্ব কার্য-দশার (functional state) উপর বেশী নির্ভরশীল। অপরপক্ষে, সাইটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে এর অবস্থান (position) এর কার্য-দশার তুলনায় সেলের (cell type) উপর অধিক নির্ভরশীল।

পরিণত এবং সক্রিয় সেলে গল্‌গির পরিপূর্ণ বিকাশ লক্ষ্য করা যায়, পক্ষান্তরে নিষ্ক্রিয় অথবা অল্পক্রিয়াশীল সেলে গল্‌গি তত ভাল ভাবে বিকাশ লাভ করে না। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে প্রথমোক্ত ধরণের সেলে গল্‌গি-দেহ তিন প্রকার উপাদানের (components) সাহায্যে গঠিত থাকতে দেখা যায়। ঐ উপাদানগুলি হচ্ছে, **ফ্ল্যাটেন্ড্ স্যাক** (flattend sacs), **বড় ভ্যাকুওল** বা **গহ্বর** (large vacuoles) এবং **ভেসিক্‌লের গুচ্ছ** (clusters of small vesicles) [১৬ নং চিত্র]।

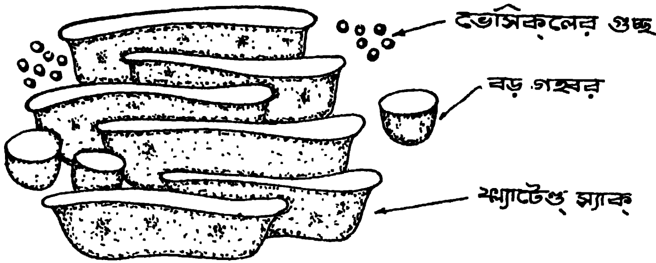



১৬ নং চিত্র :—গল্‌গির বিভিন্ন উপাদান।

দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা এর জালের মত (net-like) চেহারার সঙ্গে ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা এই চেহারার আপাতঃ-দৃষ্টিতে বিশেষ মিল খুঁজে পাওয়া যায় না ঠিকই, তবে একথা বলা যায় যে নতুন চেহারার উপাদানগুলির সবক'টিই সিল্‌ভার নাইট্রেট ও অস্‌মিয়াম টেট্রক্সাইড-কে রিডিউস (reduce) বা বিজারিত করতে পারে এবং তাদের

ফাঁকে-ফাঁকে ঐ রাসায়নিক লবণগুলি (chemical salts) জমা হ'লে একে অনেকটা জালের মত দেখায়।

গল্‌গির প্রতিটি উপাদানের গাত্র 'ইউনিট মেমব্রেন' (unit membrane) দ্বারা তৈরী। ফ্ল্যাটেন্‌ড্‌ স্যাকগুলি আর এন্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মসৃণ-গাত্রবিশিষ্ট সিস্টারনাগুলির (cisternae) আকৃতি প্রায় একই রকমের। শুধু তাই নয়, সিস্টারনাগুলির মত এরাও গাদা-র (stacks) আকারে সাজানো থাকে। এদের প্রতিটি মেমব্রেন ৬০—৭০ অ্যাংস্ট্রম পুরু এবং দু'টি মেমব্রেনের মধ্যবর্তী স্থলের দূরত্ব ৫০—২০০ অ্যাংস্ট্রম হয়ে

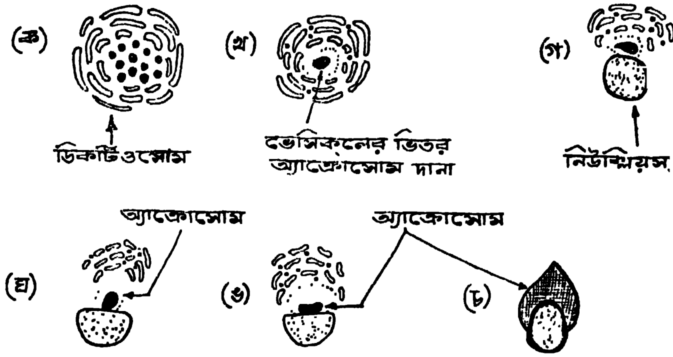



১৭ নং চিত্র :—গল্‌গির তিন-মাত্রাযুক্ত (three dimensional) চিত্র [ নক্সাকার ]।

থাকে। 'বড় গহ্বর' এবং 'ভেসিক্‌ল্‌' এই উভয়প্রকার উপাদানই 'ফ্ল্যাটেন্‌ড্‌ স্যাক'-গুলি থেকে সৃষ্টি হয়। স্যাকগুলি বিস্তৃত হয়ে বড় গহ্বরগুলির সৃষ্টি করে এবং 'ভেসিক্‌ল্‌'-গুলির সৃষ্টি হয় স্যাকগুলির প্রান্ত থেকে বাডিং-এর (budding) বা কোরকোদ্গমের দ্বারা।

## স্পার্মিওজেনেসিসের সময় চেহারার পরিবর্তন

অমেরুদণ্ডী প্রাণিতে স্পার্মিওজেনেসিস-এর (spermiogenesis) সময় অর্থাৎ শুক্রকীটের পরিণতিকালে ডিক্‌টিওসোম-এর (dictyosome) মধ্যে অনেক পরিবর্তন ঘটতে দেখা গেছে। এইসব ক্ষেত্রে প্রথম অবস্থায় ডিক্‌টিওসোমটি প্রায় ১৫টি 'ফ্ল্যাটেন্‌ড্‌ স্যাক' দ্বারা গঠিত থাকে এবং স্যাকের গাদাটি অর্ধ-চন্দ্রের আকারে অবস্থান করে। ঐ থলিগুলি ধীরে-ধীরে 'বড় গহ্বর' ও 'ভেসিক্‌লের গুচ্ছে' রূপান্তরিত হয় এবং কতিপয় ভেসিক্‌লের ভিতর কিছু সূক্ষ্ম দানা-র আবির্ভাব ঘটে (১৮ নং চিত্র)।




১৮ নং চিত্র :—শুক্রকীটের পরিণতির (spermiogenesis) সময় ডিক্‌টিওসোম (গল্‌গি) থেকে অ্যাক্রোসোমের ক্রমবিকাশ।

সূক্ষ্ম দানাগুলি কোন সেক্রিটরী বস্তু (secretory products) হওয়া সম্ভব। একসময়ে দানা-পূর্ণ কয়েকটি ভেসিক্‌ল্‌ মিলিত হয়ে একটি অ্যাক্রোসোম (acrosome) সৃষ্টি করে এবং অ্যাক্রোসোমটি ধীরে-ধীরে শুক্রকীটের (spermatozoa) নিউক্লিয়সের শীর্ষে এসে অবস্থান করে।

## কেমিক্যাল কম্পোজিশান

(Chemical composition বা রাসায়নিক গঠন)

এর মেমব্রেনগুলি সাইটোপ্লাজ্‌মের অন্যান্য অঙ্গের মেমব্রেনের মত লাইপোপ্রোটীন দ্বারাই গঠিত। সম্পূর্ণ গল্‌গি-দেহের রাসায়নিক বিশ্লেষণের ফলে দেখা গেছে যে এটি প্রায় সমপরিমাণ প্রোটীন ও ফস্‌ফো-লিপিড দ্বারা তৈরী। তবে এই লিপিড ও প্রোটীনের কিছুটা অংশ এর মধ্যেকার সঞ্চিত বস্তুসমূহ এবং এনজাইম-ও হতে পারে।

## কার্যাবলী

অতীত দিন থেকেই গল্‌গি-কে সেক্রিশানের (secretion) কাজের সঙ্গে যুক্ত বলে ভাবা হয়েছে। এই চিন্তাধারার মূলে আছে, অন্যান্য সেলের তুলনায় সেক্রিটারী সেলগুলিতে, যেমন, স্যালিভারী গ্ল্যাণ্ড্‌ (বা লালা-গ্রন্থি), প্যান্‌ক্রিয়াস (বা অগ্ন্যাশয়) এবং এণ্ডোক্রাইন গ্ল্যাণ্ড্‌ (বা হর্মোন-সৃষ্টিকারী গ্রন্থি)-সমূহের সেলে, তাদের পরিপূর্ণ বিকাশ। তদুপরি,

কোন-কোন ধরণের সেলে অটোরেডিওগ্রাফ (autoradiograph) পদ্ধতিতে দেখা গেছে যে রাইবোসোমযুক্ত এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামগুলি থেকে উৎপন্ন পদার্থসমূহ গল্‌গি-অঞ্চলে স্থানান্তরিত হয় এবং সেখান থেকে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের মধ্যে দিয়ে পিনোসাইটোসিস (pinocytosis) প্রক্রিয়ায় সেগুলি বাইরে যায়। উদাহরণস্বরূপ গিনিপিগের প্যান্‌ক্রিয়াসের সেলের উপর যে পরীক্ষা করা হয়েছে তার উল্লেখ করা যেতে পারে। তেজস্ক্রিয় (radio-active) অ্যামিনো অ্যাসিড 'লিউসিন'-কে (leucine) ঐসব সেলে প্রবেশ করানোর অল্প পরেই রাইবোসোমযুক্ত এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম অঞ্চলে তেজস্ক্রিয়তা ধরা পড়ে। পরে গল্‌গির ভিতর অবস্থিত প্রোটীনের মধ্যে এই তেজস্ক্রিয়তা দেখা যায়। সবশেষে সাইটোপ্লাজ্‌মস্থ জাইমোজেন দানা-র (যা এনজাইম-এর অগ্রদূত, অতএব কোষের সেক্রিটরী পদার্থ) মধ্যে তেজস্ক্রিয়তা লক্ষিত হয়। এই পরীক্ষা থেকে স্পষ্টরূপেই বোঝা যায় যে সেলের সেক্রিশানের কাজের সঙ্গে গল্‌গির সম্পর্ক আছে। তবে অধিকাংশ সাক্ষ্য এটাই নির্দেশ করে যে, সেক্রিটরী পদার্থসমূহের উৎপাদনে বা সৃষ্টিতে গল্‌গি কোন অংশ গ্রহণ করে না —এটি কেবল সেক্রিটরী পদার্থসমূহ থেকে অতিরিক্ত জল-কে নিষ্কাশন করে তাদের মেমব্রেনঘেরা 'সেক্রিটরী দানা'-য় (secretory granules) পরিণত করে। এই দানা-পূর্ণ থলিগুলি পরিপূর্ণ আকার লাভ করলে তারা প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের দিকে ধাবিত হয় এবং পরিশেষে সেলের বাইরে চলে যায়। অন্যভাবে বলা যেতে পারে যে, গল্‌গি সেল থেকে সেক্রিটরী বস্তুসমূহকে বাইরে পাঠানোর একটি প্রয়োজনীয় মাধ্যম হিসাবে কাজ করে।

বিশেষ ধরণের কোন-কোন সেলে গল্‌গি স্বয়ং সেক্রিটরী পদার্থ উৎপাদন করে, যেমন শুক্রকীটস্থ 'অ্যাক্রোসোম', যার ভিতর ফার্টিলাইজেশান-এর (fertilization) বা গর্ভাধানের জন্য প্রয়োজনীয় এনজাইমগুলি থাকে।

সাম্প্রতিক গবেষণায় এধরণের ইঙ্গিত পাওয়া গেছে যে, সেলের ভিতর গল্‌গি-অঞ্চলে প্রোটীনের সঙ্গে কার্বোহাইড্রেটের সংযুক্তি ঘটে।

## উৎপত্তি

গল্‌গির সঙ্গে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের গঠনের গভীর মিল থেকে ইহা নির্দেশিত হয় যে, গল্‌গির উপাদানগুলি এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম থেকেই সৃষ্টি হয়ে থাকে। এই সম্ভাবনাকে বর্তমান অবস্থায়

দৃঢ়তার সঙ্গে স্বীকার করাও যায় না, আবার হেলায় উড়িয়ে দেওয়াও চলে না। গল্‌গি ও এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের মেমব্রেনের মধ্যে প্রত্যক্ষ সংলগ্নতা (direct connections) উল্লেখযোগ্য মাত্রায় দেখা না গেলেও, কয়েকটি ক্ষেত্রে এধরণের সংলগ্নতা দেখা গেছে। এ ছাড়াও, সাইটো-প্লাজ্‌মের যেসব অঞ্চলে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম থেকে গল্‌গিতে সেক্রিটরী পদার্থ-সমূহের হস্তান্তর ঘটে, সেইসব অঞ্চলে ট্র্যান্‌জিশানাল (transitional) বা অবস্থান্তরপ্রাপ্ত কিছু উপাদান চোখে পড়ে। এই অবস্থান্তরপ্রাপ্ত উপাদানগুলি মসৃণ-গাত্রবিশিষ্ট মেমব্রেন দ্বারা গঠিত, যাদের ভিতর সেক্রিটরী পদার্থসমূহ সঞ্চিত হওয়ার ফলে গল্‌গি ভেসিক্‌লের (golgi vesicles) সৃষ্টি হওয়া অসম্ভব নয়।

# ৭ ॥ লাইসোসোম
# (Lysosome)

লাইসোসোম-কে কোষের 'ডাইজেস্‌টিভ বডি' (digestive body বা পাচন অঙ্গ) রূপে বর্ণনা করা যেতে পারে। কেননা, তাদের মুখ্য কাজ হচ্ছে কোষ-মধ্যে পরিপাক-ক্রিয়া সম্পন্ন করা এবং এই কাজের জন্যই তাদের নাম লাইসোসোম ('Lyso-'শব্দাংশটি এসেছে 'Lytic' শব্দটি থেকে, যার অর্থ হচ্ছে 'পাচন' বা 'জীর্ণকারক', 'some' শব্দটির অর্থ 'দেহ' বা 'অঙ্গ')।

কিছুকাল যাবতই ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে লিভার-এর বা যকৃতের কোষে কতকগুলি গোলাকার, ঘন- বা নিরেট-অন্তস্থলযুক্ত অঙ্গ (organelle) ধরা পড়ছিল। প্রথমে তাদের নাম দেওয়া হয় **পেরিক্যানালিকিউলার ডেন্স্‌ বডিজ্‌** (pericanalicular dense bodies বা নালিকা-পরিসীমাস্থ ঘন-অন্তঃস্থলযুক্ত অঙ্গ), কেননা, তারা লিভারের পিত্ত-নালিকার (bile canaliculi) পরিসীমায় সমবেত হয়ে অবস্থান করে বলে দেখা যায়। সে-সময়ে তাদের কাজ সম্পর্কে কিছুই জানা সম্ভব হয় নি। ১৯৫৫ খৃীস্টাব্দে ক্রিশ্চিয়ান ডি-ডিউভ্‌ (Christian de Duve) জৈব-রাসায়নিক পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করেন, অঙ্গটি 'এনজাইম-এর একটি ক্ষুদ্র থলি-বিশেষ' (tiny bag of enzymes) এবং সেই কারণে তিনি অঙ্গটির নতুন নামকরণ করেন, **লাইসোসোম** অর্থাৎ 'ডাইজেস্‌টিভ বডি'।

স্তন্যপায়ী প্রাণির লিভার (বা যকৃত), কিডনী (বা বৃক্ক), প্যান্‌ক্রিয়াস (বা অগ্ন্যাশয়), ব্রেন (বা মস্তিষ্ক) ও থাইরয়েড গ্রন্থির কোষে, উদ্ভিদের মেরিস্টেমেটিক টিস্যুর (meristematic tissue বা ভাজক কলা) কোষে এবং কতিপয় এককোষী প্রাণির (protozoa) কোষে এদের দেখা গেছে। তবে, অনুমান করা হয় যে সব রকমের কোষেই তাদের পাওয়া যেতে পারে। সাধারণত যেসব কোষ পরিপাক বা পাচন যন্ত্রের (digestive organ) মত কাজ করে, যেমন, রক্তের শ্বেত-কণিকা (leucocytes), তাদের মধ্যে প্রচুর-সংখ্যক এবং বড়-বড় আকারের লাইসোসোম দেখা যায়।

### মরফোলজি
### (Morphology বা অঙ্গসংস্থান)

লাইসোসোম-এর আকার সাধারণত গোল হয়ে থাকে, তবে অনেক ক্ষেত্রে, যেমন, উদ্ভিদের মেরিস্টেমেটিক টিস্যুর কোষে, তাদের আকার খুব

বিষম (irregular) ধরণের হয়। তাদের ব্যাস সাধারণত ০·২৫—০·৮ মাইক্রন পর্যন্ত হয়ে থাকে। অবশ্য কোন-কোন ক্ষেত্রে তাদের ব্যাস আরও বেশী হতে পারে, যেমন, স্তন্যপায়ী প্রাণির কিডনী-র কোষে তারা ৫ মাইক্রো অবধি হয় এবং ফ্যাগোসাইট-এ (phagocyte) তাদের ব্যাসে আরও বেশী হয়ে থাকে।

লাইসোসোম-এর বহির্ভাগে একটি মেমব্রেন আছে, যা তার অন্তঃস্থ বস্তু-সমূহের আবরণীরূপে কাজ করে। এর অন্তঃস্থলের চেহারাও খুব অনির্দিষ্ট ধরণের। কতকগুলির অন্তঃস্থল বেশ ঘন বা নিরেট; কতক-গুলির বহিরাঞ্চল বেশ ঘন, সেই তুলনায় কেন্দ্রস্থল অপেক্ষাকৃত কম ঘনত্ব-যুক্ত; আবার কতকগুলির ভিতরে কিছু গ্র্যানিউলার (granular) বা দানাদার বস্তু ও ছোট-ছোট গহ্বরও দেখা যায় (১৯ নং চিত্র)। বাস্তবিকপক্ষে, তাদের আয়তন (size) এবং চেহারা (appearance) এতই পরিবর্তনশীল যে, কেবলমাত্র গঠনের উপর নির্ভর করে নির্ভুলভাবে তাদের সনাক্ত করা সম্ভব নয়। সাম্প্রতিককালে প্রমাণিত হয়েছে যে, লাইসোসোম-এর রূপের বিভিন্নতা (polymorphism) তার কার্য-দশার (functional state) সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত।

## রাসায়নিক গঠন

## (Chemical composition)

লাইসোসোম-এর আবরণীটি কোষস্থ অন্যান্য অঙ্গের মেমব্রেনের ন্যায় লাইপোপ্রোটীন দ্বারাই গঠিত। এর ভিতরে থাকে নানা প্রকারের এনজাইম। কিডনী, লিভার, এন্ডোক্রাইন গ্রন্থিসমূহ, উদ্ভিদের মূল (root) এবং ছত্রাকের (fungi) কোষের লাইসোসোমে প্রচুর পরিমাণে **অ্যাসিড ফস্‌ফেটেজ**-এর (acid phosphatase) অস্তিত্ব ধরা পড়েছে। অ্যাসিড ফস্‌ফেটেজ ছাড়া আরও যেসব এনজাইমের অস্তিত্ব লাইসোসোমের মধ্যে ধরা পড়েছে, সেগুলিকে একসাথে বলা হয় **অ্যাসিড হাইড্রোলেজ** (acid hydrolase)। এই কারণেই লাইসোসোমকে অনেক সময়ে "অ্যাসিড হাইড্রোলেজ-এ ধনবান অঙ্গ" বলে বর্ণনা দেওয়া হয়। অ্যাসিড হাইড্রো-লেজ-গোষ্ঠীভুক্ত যেসব এনজাইম এর মধ্যে পাওয়া গেছে তাদের ভিতর প্রধান-প্রধান কয়েকটি হ'ল, রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিডের উপর কার্যকরী অ্যাসিড রাইবোনিউক্লীয়েজ (acid ribonuclease), ডিঅক্সিরাইবোনিউ-ক্লীক অ্যাসিডের উপর কার্যকরী অ্যাসিড ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লীয়েজ

(acid deoxyribonuclease), ফস্‌ফেটের জৈব-যৌগিক পদার্থের (phosphate esters) উপর কার্যকরী অ্যাসিড ফস্‌ফেটেজ (acid phosphatase), প্রোটীনের উপর কার্যকরী ফস্‌ফোপ্রোটীন ফস্‌ফেটেজ (phosphoprotein phosphatase), ক্যাথেপ্‌সিন এ ও বি (Cathepsins A and B) ইত্যাদি। মোটকথা, কোষস্থ অধিকাংশ অর্গ্যানেলী বা অঙ্গকে এবং জৈব-পদার্থকে পরিপাক করবার ক্ষমতাবিশিষ্ট যাবতীয় এনজাইম লাইসোসোমের মধ্যে পাওয়া যায়। এই এনজাইমগুলি যতক্ষণ লাইসোসোমের মেমব্রেন দ্বারা ঘেরা থাকে ততক্ষণ তারা থাকে সম্পূর্ণ নিষ্ক্রিয়। কিন্তু, কোনক্রমে মেমব্রেনটি ছিন্ন হলেই তারা সক্রিয় হয়ে ওঠে।

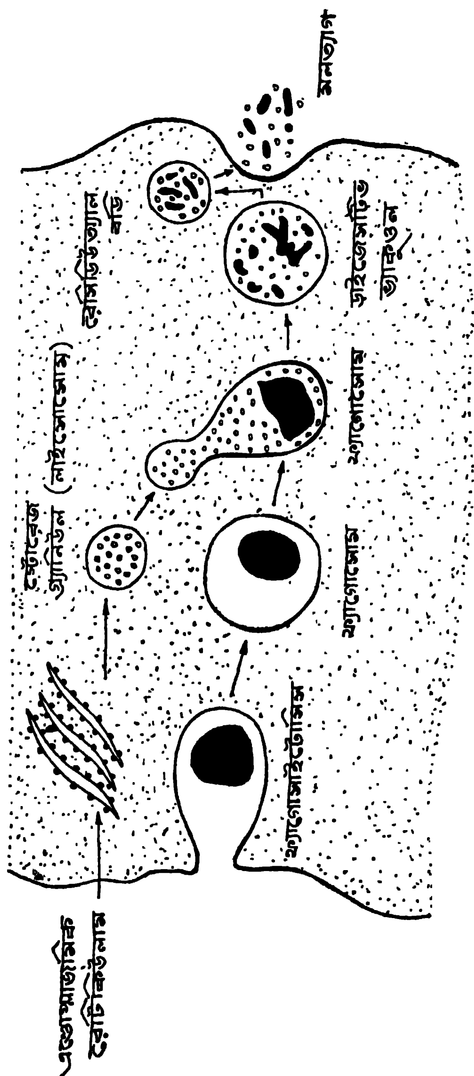
অ্যাক্রোসোম-কে অনেক সময় তার অ্যাসিড ফস্‌ফেটেজ কার্যকলাপের জন্য লাইসোসোম-এর হোমলগাস (homologous বা সমসংস্থ) অঙ্গ বলে অনুমান করা হয়ে থাকে। সেক্ষেত্রে একে একটি স্পেশালাইজ্‌ড্‌ (specialized) বা বিশিষ্ট ধরণের লাইসোসোম রূপে চিহ্নিত করাই যুক্তিযুক্ত।

## কার্যাবলী

লাইসোসোম সাধারণত দু'রকমের কাজ করে থাকেঃ (১) কোষের মধ্যে যেসব বড় বড় অণু প্রবেশ করে সেগুলির পরিপাক এবং (২) দেহস্থ কোষের মৃত্যুতে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ।

**(১) বাইরে থেকে প্রবেশ করা বড় অণুগুলির পরিপাকঃ**—কোষ ফ্যাগোসাইটোসিস প্রক্রিয়ায় (বর্তমানে এটি এণ্ডোসাইটোসিস [endocytosis] নামেই বেশী পরিচিত) বড় বড় অণুগুলিকে এবং ব্যাক্‌টিরিয়া অথবা অন্য কোষকে নিজ-দেহ মধ্যে গ্রহণ করতে পারে। শিকারটি প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন দ্বারা ঘেরা একটি গহ্বরের মধ্যে থেকে সাইটোপ্লাজ্‌মে নীত হয়। শিকারসহ প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের থলিটিকে বলা হয় **ফ্যাগোসোম** (phagosome) [১৯নং চিত্র]। এর পর ফ্যাগোসোম ও লাইসোসোম উভয়েই উভয়ের দিকে ধাবিত হয় এবং একে অপরের সংস্পর্শে এলে তাদের মেমব্রেনগুলি গলে গিয়ে একটি বড় গহ্বরের সৃষ্টি হয়। এই অবস্থায় লাইসোসোমের এনজাইমগুলি শিকারটির সংস্পর্শে এসে তাকে পরিপাক করতে থাকে। ফ্যাগোসোম ও লাইসোসোমের মিলনে যে গহ্বরটির সৃষ্টি হয় তা **ডাইজেস্টিভ ভ্যাকুওল** (digestive vacuole) নামে পরিচিত। ডাইজেস্টিভ ভ্যাকুওল থেকে পরিপাক হওয়া বস্তুগুলি

সাইটোপ্লাজ্‌মে পরিব্যাপ্ত (diffuse) হয়। যে বস্তুগুলিকে পরিপাক করা সম্ভব হয় না সেই বস্তুগুলিসহ ডাইজেস্টিভ ভ্যাকুওলটিকে বলা হয় **রেসিডিউঅ্যাল বডি** (residual body)। সেটি ধীরে-ধীরে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের নিকট যায় এবং **বিপরীত ফ্যাগোসাইটোসিস** (reverse




১৬ নং চিত্র :—কোষ-মধ্যে পরিপাক ক্রিয়া।

phagocytosis) বা **এক্সোসাইটোসিস** (exocytosis) প্রক্রিয়ায় ভিতরকার বস্তুগুলিকে কোষের বাইরে পাঠিয়ে দেয়।

এখন কোষের ভিতরে পরিপাক ক্রিয়ার রূপরেখাটি জানা যাওয়ায় লাইসোসোমকে বিভিন্ন কোষে তার কাজের বিভিন্ন দশায় [যথা, নতুন তৈরী এনজাইমগুলিকে নিয়ে **স্টোরেজ গ্র্যানিউল** (storage granules), ফ্যাগোসোম ও লাইসোসোমের মিলনে তৈরী **ডাইজেসটিভ ভ্যাকুওল** এবং **রেসিডিউঅ্যাল বডি**] সনাক্তকরণ করা সম্ভব হয়েছে।

(২) **দেহস্থ কোষের মৃত্যুতে লাইসোসোমের ভূমিকা**ঃ—দেহমধ্যে কোষের মৃত্যু সবসময়েই সর্বনাশা ঘটনা নয়, পরন্তু, অনেক সময়েই এটি দেহের পক্ষে একটি স্বাভাবিক এবং প্রয়োজনীয় ব্যাপার। প্রাণিদেহস্থ বহু কোষই ক্ষণজীবি ; কিছুকাল বেঁচে থাকার পর তাদের মৃত্যু ঘটে এবং নতুন কোষ তাদের স্থান অধিকার করে। বিশেষ করে রক্ত কণিকাদের মধ্যে, ত্বকের বাইরের দিকের স্তরগুলিতে এবং দেহস্থ বিভিন্ন মিউকাস মেমব্রেনে (mucous membrane বা শৈলেষ্মিক ঝিল্লী) এই ধরণের ঘটনা ঘটে থাকে। ভ্রূণের ডেভেলপ্‌মেন্টের (development) বা ক্রমবর্ধনের সময় তাকে আদর্শ রূপ-দানের জন্যও 'কোষ-মৃত্যুর' (cell death) একটি ভূমিকা থাকে। এই কোষ-মৃত্যুতে লাইসোসোম তিনটি বিশেষ প্রক্রিয়ায় তার কাজ সমাধা করেঃ (ক) দেহের যে জায়গায় কোষের মৃত্যু ঘটে রক্তের **শ্বেত-কণিকা** (leucocytes) এবং অন্যান্য আবর্জনা-অপসারক কোষগুলি, যথা, ম্যাক্রোফেজ-গুলি (macrophages), সেই জায়গায় ছুটে যায় এবং মৃত কোষগুলিকে এণ্ডোসাইটোসিস প্রক্রিয়ায় দেহের মধ্যে গ্রহণ করে। এর পর তাদের লাইসোসোমগুলি মৃত কোষগুলিকে স্বাভাবিক প্রক্রিয়ায় পরিপাক করে ফেলে। (খ) কোষ-মৃত্যুর সময় লাইসোসোমের কাজের এই দ্বিতীয় প্রক্রিয়াটি অল্প কিছুকাল আগে আবিষ্কৃত হয়েছে—এর নাম **অটোফেগী** (autophagy) বা **নিজদেহ ভক্ষণ**। এই প্রক্রিয়ায় কোষস্থ কোন-কোন অংশ নিজ-কোষের লাইসোসোমের ভিতর প্রবেশ করে এবং তথায় পরিপাক হয়ে যায়। কেমন করে কোষের অঙ্গগুলি লাইসোসোমের ভিতর প্রবেশ করে তা অবশ্য এখনও জানা যায় নি। (গ) তৃতীয় প্রক্রিয়াটি হচ্ছে, লাইসোসোমের আবরণীটি ছিন্ন হয়ে তার ভিতরের এনজাইমগুলি সাইটোপ্লাজ্‌মে বার হয়ে আসে এবং সম্পূর্ণ কোষটিকেই ধীরে-ধীরে পরিপাক করে ফেলে।

## বিভিন্ন বস্তুর ক্রিয়াজনিত পরিবর্তন

(Changes due to actions of various substances)

লাইসোসোমের মেমব্রেন-আবরণীটি খুবই সংবেদনশীল (sensitive)। পারিপার্শ্বিক অবস্থার পরিবর্তনে এতে নানা প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয়। এটি প্রমাণিত হয়েছে যে, অক্সিজেন-এর অভাবে এবং বিভিন্ন বিষাক্ত দ্রব্যের সংস্পর্শে লাইসোসোমের মেমব্রেন-আবরণীটি ছিন্ন হয়ে যায়। প্রাণিদের বার্ধক্যকালে দেহে অক্সিজেনের অভাব ঘটে থাকে এবং এথেকে বার্ধক্যে দেহের বিভিন্ন অঙ্গে কোষ-মৃত্যুর (cell death) কারণ কিছুটা অনুমান করা যায়। অবশ্য বার্ধক্যে টিস্যু ডিজেনারেশান-এর (tissue degeneration বা কলাসমূহের আপজাত্য) আরও অনেক কারণ আছে।

অতিরিক্ত ভাইটামিন 'এ'-র (vitamin A) সংস্পর্শেও লাইসোসোমের মেমব্রেন ছিন্ন হয়ে যায় এবং এনজাইমগুলি সাইটোপ্লাজ্‌মে বার হয়ে পড়ে কোষের মৃত্যু ঘটায়, যার ফলে অস্থি-র ও কার্টিলেজ-এর (cartilage বা তরুণাস্থি) অটোলাইসিস (autolysis) ঘটে থাকে।

এটা লক্ষ্য করা গেছে যে, হৃদ্‌যন্ত্রের (heart) শল্য-চিকিৎসার সময় যদি দীর্ঘ সময়ের জন্য হৃদ্‌যন্ত্র ও শ্বাসযন্ত্র-এর (lung) মধ্যে দিয়ে রক্ত-প্রবাহকে নিবারণ করা যায়, তাহলে দেহে বহু অনিষ্টকর প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয়। অতিরিক্ত মাত্রায় কর্টিকোস্টেরয়েড-জাতীয় ঔষধগুলি (corticosteroids) এইসব প্রতিক্রিয়া নিবারণ করে। সাম্প্রতিক সাক্ষ্য-প্রমাণ থেকে এটা বোঝা গেছে যে, কর্টিকোস্টেরয়েড-জাতীয় ঔষধগুলি লাইসোসোমের মেমব্রেনের পার্মিয়েবিলিটির (permeability) পরিবর্তন ঘটিয়ে তাদের ভিতরের এনজাইমগুলির বাইরে আসায় বাধাদানের মাধ্যমে তাদের এই ক্রিয়া সম্পাদন করে।

### উৎপত্তি

সাম্প্রতিক গবেষণায় দেখা গেছে যে গল্‌গির গহ্বরগুলির ভিতর সেক্রিটরী বস্তুসমূহ সংগৃহীত হওয়ার ফলে লাইসোসোমের সৃষ্টি হয়। অর্থাৎ, গল্‌গিদেহের কিছুটা অংশ লাইসোসোমে রূপান্তরিত হয়—আকারের এই পরিবর্তনের সাথে এদের ভিতরের এনজাইমেরও কিছু পরিবর্তন ঘটে। কেননা, গল্‌গির মধ্যে সাধারণত অ্যাসিড ফস্‌ফেটেজ (acid phosphatase) এনজাইম থাকে না, অথচ লাইসোসোমের মধ্যে তা পাওয়া যায়।

## কৃত্রিম সৃষ্টি
## (Synthetic preparation)

১৯৭০ সালে নিউ-ইয়র্ক বিশ্ববিদ্যালয়ের স্কুল অফ্ মেডিসিন-এ গবেষণারত দুজন বিজ্ঞানী, ডক্টর জি. ভাইস্ম্যান (Dr. G. Weissman) ও ডক্টর জি. সেসা (Dr. G. Sessa), কৃত্রিম উপায়ে লাইসোসোম তৈরী করতে সমর্থ হয়েছেন। বাজার থেকে কেনা পরিশোধিত লিপিড ও এনজাইম ব্যবহার করে তাঁরা এটি তৈরী করেন। এই কৃত্রিম উপায়ে উৎপাদিত লাইসোসোম-এর নামকরণ করা হয়েছে, **লাইপোসোম** (liposome)। এই লাইপোসোম তার ভিতর নানা প্রকার এনজাইমকে ধারণ করতে পারে ও প্রয়োজন হ'লে সেগুলিকে বার করেও দিতে পারে, এবং জীবন্ত কোষের মধ্যে লাইসোসোমের আচরণের সঙ্গে টেস্ট-টিউবের মধ্যে লাইপোসোমের আচরণের হুবহু মিল দেখা যায়।

# ৮ ॥ মাইটোকন্ড্রিয়া

## (Mitochondria)

আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে (light microscope) সাইটো-প্লাজ্‌মের মধ্যে সুতার মত (filamentous) অথবা রড-এর আকারের (rod-like) কতকগুলি অংশ দেখা যায়, সেগুলিই মাইটোকন্ড্রিয়া নামে পরিচিত। **বেন্ডা** (Benda) ১৮৯৮ খ্রীস্টাব্দে এই অঙ্গটির নামকরণ করেন। রক্তের পরিণত লোহিত-কণিকা, ব্যাক্‌টিরিয়া ও কয়েকধরণের শৈবাল (algae) ব্যতীত প্রায় সকলপ্রকার প্রাণি ও উদ্ভিদ্‌-কোষে এদের দেখা যায়। কোষের মধ্যে 'শক্তি উৎপাদনের কারখানা' (power house) রূপে এরা চিহ্নিত।

### অবস্থান

অধিকাংশ কোষেই মাইটোকন্ড্রিয়াগুলি সাইটো-প্লাজ্‌মের সর্বত্র ছড়ানো থাকে, কিন্তু কোন-কোন কোষে তারা নির্দিষ্ট-স্থানে অবস্থান করে। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, ইউরিনিফেরাস টিউবিউল-এর (uriniferous tubules) কোষে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের নিকট এবং 'প্যারা-মিসিয়াম'-এ (*Paramoecium*) কোষের পরিধির নিকট এদের অবস্থান। কিছু কোষে নিউক্লীয়ার মেমব্রেনের কাছেও এরা উপস্থিত থাকে। নার্ভ-কোষে যে অঞ্চল দিয়ে এক কোষ থেকে অপর কোষে উত্তেজনা (impulse) প্রেরিত হয় সেই অঞ্চলে এদের দেখা যায়। বিশেষ-বিশেষ স্থানে তাদের অবস্থানের উদ্দেশ্য হচ্ছে, ঐসকল স্থানে কোষের যেসব ক্রিয়া সম্পাদিত হয় তার জন্য প্রয়োজনীয় 'শক্তি' (energy) সহজে যোগান দেওয়া। ইউরিনিফেরাস টিউবিউলের কোষে অ্যাক্‌টিভ ট্র্যান্স্‌পোর্টের (active transport) জন্য, 'প্যারামিসিয়াম'-এ সিলিয়া-র বিচলনের (movement of cilia) জন্য, নার্ভ-কোষে উত্তেজনা হস্তান্তরের জন্য এবং যেসকল কোষে নিউক্লিয়সের নিকট অবস্থান সেখানে নিউক্লিয়স থেকে জীন-এর (gene) ক্রিয়ায় উদ্ভূত বস্তুসমূহ সাইটোপ্লাজ্‌মে প্রেরণের জন্য, প্রয়োজনীয় 'শক্তি' তারা প্রদান করে।

## মর্‌ফোলজি

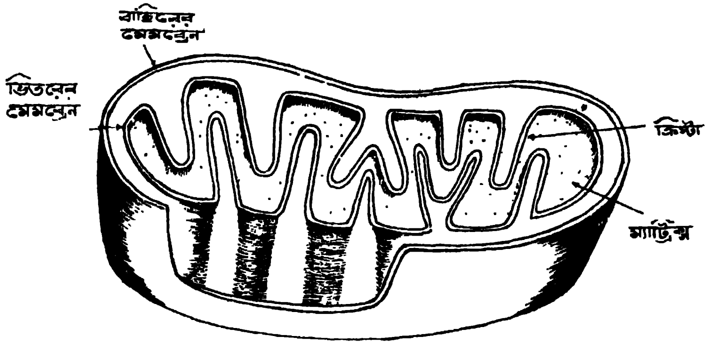
## (Morphology বা অঙ্গসংস্থান)

বিভিন্ন কোষে মাইটোকন্‌ড্রিয়ার আকৃতিতে এবং তাদের সংখ্যায় তারতম্য পরিলক্ষিত হয়। অধিকাংশ কোষেই তাদের সংখ্যা কয়েকশ' (several hundred) হয়ে থাকে, কিন্তু লিভারের কোষে এই সংখ্যা ৫০০ থেকে ২,৫০০ পর্যন্ত হতে পারে। সামুদ্র আর্চিন-এর (Sea urchin) কোন-কোন স্পিসিসের ডিমে এদের সংখ্যা ১৪,০০০ থেকে ১,৫০,০০০ পর্যন্ত হতে দেখা গেছে। 'কেয়স্‌ কেয়স্‌' (*chaos chaos*) নামে অ্যামিবায় এই সংখ্যা ৫,০০,০০০ পর্যন্ত হয়ে থাকে। প্রায় ক্ষেত্রেই কোষের কাজের সঙ্গে মাইটোকন্‌ড্রিয়ার সংখ্যার একটা সম্পর্ক লক্ষ্য করা যায়। উদাহরণস্বরূপ উল্লেখ করা যেতে পারে যে, লালা-গ্রন্থির (salivary glands) কোষে সেক্রিশান বৃদ্ধির সাথে-সাথে মাইটোকন্‌ড্রিয়ার সংখ্যাবৃদ্ধি ঘটে।

অধিকাংশ ক্ষেত্রে মাইটোকন্‌ড্রিয়াগুলি ৩—৫ মাইক্রা লম্বা হয়, তবে কোন-কোন ক্ষেত্রে তাদের দৈর্ঘ্য আরও বেশী হতে পারে, যেমন, 'রানা পাইপিয়েন্‌স্‌' (*Rana pipiens*) নামে ব্যাঙের উসাইট-এ (Oocyte) তারা ২০—৪০ মাইক্রা লম্বা হয়। তাদের ব্যাস সাধারণত ০·২—২·০ মাইক্রা হয়ে থাকে।

আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে মাইটোকন্‌ড্রিয়াকে রড-এর মত দেখায়। যদিও অধিকাংশ কোষের মাইটোকন্‌ড্রিয়াই রডের আকৃতিবিশিষ্ট, তথাপি বেশ কিছু সংখ্যক প্রাণির শুক্রকীটে ও ডিমে তাদের আকৃতি গোলাকার। মোট তিন রকম আকৃতির মাইটোকন্‌ড্রিয়া দেখা যায়, যথা, সুতোর মত (chondriocont), রডের মত (chondriosplite) ও গোলাকার (chondriosphere)। তবে একরকম আকৃতি থেকে অন্যরকম আকৃতিতেও তারা পরিবর্তিত হতে পারে।

ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করে মাইটোকন্‌ড্রিয়ার গঠন সম্পর্কে সম্যক ধারণা লাভ করা সম্ভব হয়েছে। প্রতিটি মাইটোকন্‌ড্রিয়া দু'টি ইউনিট মেমব্রেন (unit membrane) দ্বারা গঠিত—**বাইরের মেমব্রেন** (outer membrane) ও **ভিতরের মেমব্রেন** (inner membrane) [ ২০নং চিত্র ]। প্রতিটি মেমব্রেন প্রায় ৭৫ অ্যাংস্ট্রম পুরু এবং কোষের অন্যান্য অঙ্গের (organelle) মেমব্রেনের মত লিপিড ও প্রোটীন দিয়ে তৈরী। মেমব্রেন দু'টির মাঝখানে ২০—৬০ অ্যাংস্ট্রম ফাঁক থাকে এবং ঐ ফাঁকা




২০ নং চিত্র :—মাইটোকন্ড্রিয়ার তিন-মাত্রাযুক্ত (three dimensional) চিত্র।

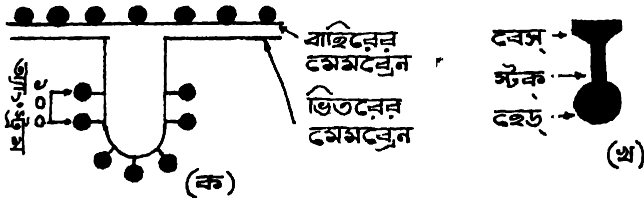
জায়গাটি কোএনজাইম১-এ (coenzyme) সমৃদ্ধ একটি তরল পদার্থ দ্বারা পূর্ণ থাকে। মাইটোকন্ড্রিয়ার কেন্দ্রের ফাঁকা জায়গাটিকে বলা হয় **ম্যাট্রিক্স্** (matrix)—এর ভিতর নানা গ্র্যানিউলার বা দানাদার বস্তু থাকে। ভিতরের মেমব্রেনটি থেকে কতকগুলি ভাঁজের সৃষ্টি হয় এবং সেগুলি ম্যাট্রিক্স্-এর মধ্যে ঝুলে থাকে। এই ভাঁজগুলিকে বলা হয় ক্রিস্টি২ (cristae) [২০নং চিত্র]। এর কোন-কোনটি আবার শাখা-প্রশাখা সমন্বিত হয়ে থাকে। মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে ক্রিস্টি দু'ভাবে সজ্জিত থাকতে পারে। অধিকাংশ ক্ষেত্রেই তারা মাইটোকন্ড্রিয়ার লম্ব-অক্ষের (longitudinal axis) সঙ্গে সমকোণে সজ্জিত থাকে, তবে কোন-কোন ক্ষেত্রে লম্ব-অক্ষের সঙ্গে সমান্তরাল ভাবেও থাকতে পারে, যেমন, স্ট্রায়েটেড পেশীসমূহের কোষে (striated muscle cells) এবং নার্ভ-কোষে। ক্রিস্টি সৃষ্টির মূল উদ্দেশ্য হচ্ছে, মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে এনজাইমের ক্রিয়া-কলাপের জন্য অতিরিক্ত স্থান যোগানো।

ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে গৃহীত ছবি খুব বড় করে (magnify) দেখা গেছে যে মইাটোকন্ড্রিয়ার বাইরের মেমব্রেনের বহির্গাত্রে এবং ভিতরের মেমব্রেনের অন্তর্গাত্রে অসংখ্য ছোট গ্র্যানিউল বা দানা (granules) আছে।

১ যে পদার্থ কোন এনজাইম-এর সঙ্গে যুক্ত থেকে তাকে কর্মক্ষম করে, সেই পদার্থকে ঐ এনজাইম-এর 'কোএনজাইম' (অর্থাৎ, সহযোগী এনজাইম) বলা হয়।

২ ক্রিস্টি=বহুবচন, ক্রিস্টা=একবচন।

**হাম্‌বার্‌টো ফার্নাণ্ডেজ মোরান** (Humberto Fernandez Moran) প্রথম এগুলির উল্লেখ করেন। **পার্সন্‌স্‌** (Persons) পরে গবাদি পশুর প্যান্‌ক্রিয়াসের কোষে এবং ইঁদুরের বিভিন্ন টিস্যুর কোষে এদের অস্তিত্বের উল্লেখ করেছেন। কোন-কোন প্রকারের কোষে বাইরের মেমব্রেনের গ্র্যানিউলগুলি ভিতরের মেমব্রেনের গ্র্যানিউলগুলি থেকে সামান্য ভিন্ন ধরণের। প্রথমোক্তগুলি **গোলাকার,** অপরপক্ষে শেষোক্তগুলির প্রত্যেকটিতে একটি **বেস** (base বা ভূমি), একটি **স্টক** (stalk বা বৃন্ত) ও স্টকের শীর্ষে একটি গোলাকার **হেড** (head বা মস্তক) আছে (২১নং চিত্র)। প্রথমোক্ত গ্র্যানিউলগুলির গড়পড়তা ব্যাস ৯০--১০০ অ্যাংস্ট্রম। শেষোক্ত গ্র্যানিউলগুলির স্টকের গড়পড়তা দৈর্ঘ্য ও ব্যাস যথাক্রমে ৪৫—৫০ অ্যাংস্ট্রম ও ৩০—৩৫ অ্যাংস্ট্রম, এবং হেড বা মস্তকের ব্যাস ৭৫—৮০ অ্যাংস্ট্রম। প্রতিটির বেস-এর ব্যাস তার হেড-এর ব্যাসের প্রায় সমান। একটির হেডের কেন্দ্র থেকে আর একটি হেডের কেন্দ্রের দূরত্ব প্রায় ১০০ অ্যাংস্ট্রম। এই মাপগুলি থেকে গ্র্যানিউলগুলি কত ক্ষুদ্র এবং কত গায়ে-গায়ে লাগানো অবস্থায় তারা অবস্থান করে তা সহজেই অনুমান করা যায়।




২১ নং চিত্র :—(ক) মাইটোকন্‌ড্রিয়ার একটি অংশ বড় করে দেখানো হয়েছে; (খ) ভিতরের মেমব্রেনের একটি গ্র্যানিউলকে বড় করে দেখানো হয়েছে।

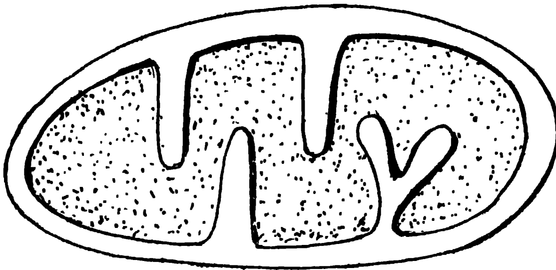
## কেমিক্যাল কম্পোজিশান

(Chemical Composition বা রাসায়নিক গঠন)

মাইটোকন্‌ড্রিয়ার মেমব্রেনগুলি প্রচলিত ধারা অনুযায়ী লাইপোপ্রোটীন দ্বারাই গঠিত। প্রতিটি মেমব্রেনের মধ্যভাগে থাকে দুস্তরবিশিষ্ট লিপিড এবং লিপিডকে দু'দিক থেকে ঘিরে থাকে প্রোটীনের স্তর (৬নং ও ১০নং চিত্র)। মাইটোকন্‌ড্রিয়াস্থ সমুদয় এনজাইমসহ মাইটোকন্‌ড্রিয়ার শুষ্ক ওজনের (dry weight) শতকরা প্রায় ৭০ ভাগ হচ্ছে **প্রোটীন** এবং ২৫—৩০ ভাগ **লিপিড**। আবার লিপিড-অংশের শতকরা ৯০ ভাগই হচ্ছে

**ফস্‌ফোলিপিড**। স্বল্প পরিমাণে **সালফার** বা **গন্ধক**, **লোহা**, **কপার** বা তামা এবং **ভাইটামিন ঈ** (vitamin E) ও অন্যান্য ভাইটামিনও এর ভিতর পাওয়া যায়। লিভারের কোন-কোন কোষের এবং রেটিনার (retina) বা অক্ষিপটের একেবারে বাইরের স্তরের কোষের মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় **রূপা** (silver) এবং ডিওডিনাম-এর (duodenum বা গ্রহণী) কোষে **সোডিয়াম** ও **পটাশিয়াম** পাওয়া গেছে। এইসব পদার্থ সব সময়েই মাইটোকন্‌ড্রিয়ার ভিতর পাওয়া যায় না। কোন-কোন সময়ে তারা আবার মাইটোকন্‌ড্রিয়া থেকে সাইটোপ্লাজ্‌মে বার হয়ে আসে।

মাইটোকন্‌ড্রিয়ার রাসায়নিক প্রকৃতির অনেকটাই তার ভিতরের এনজাইম-গুলির উপর নির্ভরশীল। অক্সিডেশান (oxidation বা জারণ) এবং ইলেকট্রন ট্র্যান্স্‌ফার-এর (electron transfer) জন্য প্রয়োজনীয় এনজাইম-গুলি মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় পাওয়া যায়। প্রথমোক্ত ক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় এনজাইমগুলি বাইরের মেমব্রেনের গ্র্যানিউলগুলিতে এবং শেষোক্ত ক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় এনজাইমগুলি ভিতরের মেমব্রেনের গ্র্যানিউলগুলিতে অবস্থান করে বলে বিশ্বাস করা হয়।



২২ নং চিত্র :—মাইটোকন্‌ড্রিয়ার দুই-মাত্রাযুক্ত (two dimensional) চিত্র।

## কার্যাবলী

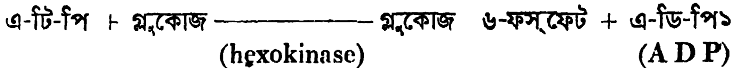
শ্বাসক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় কতিপয় এনজাইম কোষের ভিতর কেবলমাত্র মাইটোকন্‌ড্রিয়ার মধ্যেই অবস্থান করে। শ্বাসক্রিয়া যে তিনটি স্টেজে (stage) বা অঙ্কে ঘটে থাকে [ অবশ্য প্রতিটি স্টেজের আবার কয়েকটি করে সাব্‌-স্টেজ বা অণু-অঙ্ক আছে ] তাদের মধ্যে দু'টিই ঘটে মাইটোকন্‌-ড্রিয়ায়। অতএব, মাইটোকন্‌ড্রিয়াকে কোষের ভিতর শ্বাসক্রিয়া সম্পাদনের প্রধান স্থান বলা যায়। শ্বাসক্রিয়ার ফলস্বরূপ সৃষ্টি হয় প্রচুর পরিমাণে

'এ-টি-পি' (A T P—Adenosine triphosphate), যা প্রাণধারক- বা জীবনরক্ষক-কার্যাদির (vital activities) জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির রাসায়নিক রূপ। এইকারণে মাইটোকন্ড্রিয়াকে কোষের 'শক্তি উৎপাদনের কারখানা' (power house) বলা হয়ে থাকে। এখন প্রশ্ন হচ্ছে, কিভাবে শ্বাসক্রিয়ার বিভিন্ন স্টেজ মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতর সাধিত হয় ও 'এ-টি-পি'র সৃষ্টি হয়?

আগেই বলা হয়েছে, কোষের ভিতর শ্বাসক্রিয়া তিনটি প্রধান স্টেজে ঘটে থাকে—প্রতিটি স্টেজের আবার কয়েকটি সাব্-স্টেজ আছে। প্রধান স্টেজ তিনটি হচ্ছে, গ্লাইকোলিসিস চক্র (glycolytic cycle), অক্সিডেটিভ চক্র (oxidative cycle) এবং ইলেকট্রন ট্র্যান্সফার চক্র (electron transfer cycle)।

## গ্লাইকোলিসিস চক্র (*Glycolytic cycle*)ঃ

এই চক্রের অন্তর্গত এনজাইমেটিক রিঅ্যাক্শানগুলি মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতর ঘটে না; ঐগুলি হায়ালোপ্লাজমের মধ্যে সাধিত হয়। মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতর যে দু'টি চক্র সাধিত হয় তার পশ্চাদ্পট হিসাবে এই চক্রটি গুরুত্বপূর্ণ। মুখ্যত **গ্লুকোজ**-এর উপরেই এই চক্রের এনজাইমগুলি ক্রিয়া করে। এই চক্রের প্রারম্ভে **ফস্ফোরাইলেশান** (phosphorylation) বা **ফস্ফেটসংযুক্তিকরণ** ঘটে, অর্থাৎ, গ্লুকোজ ও ফস্ফেট যুক্ত হয়ে একটি যৌগিক পদার্থের সৃষ্টি হয়। এই রিঅ্যাক্শানটি (reaction বা বিক্রিয়া) নিম্নরূপঃ—

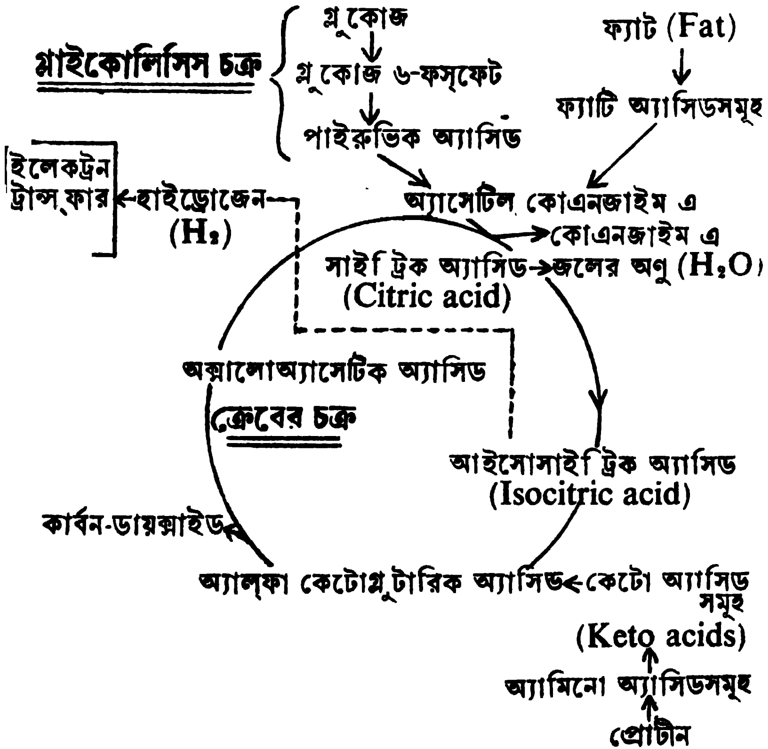



এই রিঅ্যাক্শানে যে গ্লুকোজ ৬-ফস্ফেট সৃষ্টি হয় তা গ্লাইকোসিস চক্রের বিভিন্ন এনজাইমেটিক রিঅ্যাক্শানগুলির (enzymatic reactions) অন্তে **পাইরুভিক অ্যাসিডে** (pyruvic acid) পরিণত হয়। গ্লুকোজের এই পাইরুভিক অ্যাসিডে রূপান্তর ঘটতে অক্সিজেন-এর কোন প্রয়োজন হয় না। সেই কারণে এই চক্রকে অ্যানেরোবিক চক্র (anaerobic cycle বা অবাত চক্র) বলা হয়।

১ এ-ডি-পি=অ্যাডিনোসিন ডাইফস্ফেট।

**অক্সিডেটিভ চক্র** (*Oxidative cycle* **বা জারণ চক্র**)**ঃ**

এই চক্রটি মাইটোকন্‌ড্রিয়ার বাইরের মেমব্রেনের গ্র্যানিউলগুলিতে সংঘটিত হয় এবং এই চক্রের একটি অংশকে ক্রেবের চক্র (Kreb's cycle) বলা হয়। গ্লাইকোলিসিস চক্রে উৎপাদিত পাইরুভিক অ্যাসিড এই চক্রে অক্সিজেনের উপস্থিতিতে **'অ্যাসেটিল কোএনজাইম এ'**-তে (acetyl coenzyme A) রূপান্তরিত হয় এবং তারপর ক্রেবের চক্রে প্রবেশ করে। অনেক সময় ফ্যাটি অ্যাসিডসমূহ (fatty acids) ও অ্যামিনো অ্যাসিড-সমূহ-ও **অ্যাসেটিল কোএনজাইম এ, অ্যালফা কেটোগ্লুটারিক অ্যাসিড**




অক্সিডেটিভ চক্রের নক্সা।

(alpha-ketoglutaric acid) ও **অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড-এ** (oxalo-acetic acid) রূপান্তরিত হয়ে ক্রেবের চক্রে প্রবেশ করে। ক্রেবের চক্রে

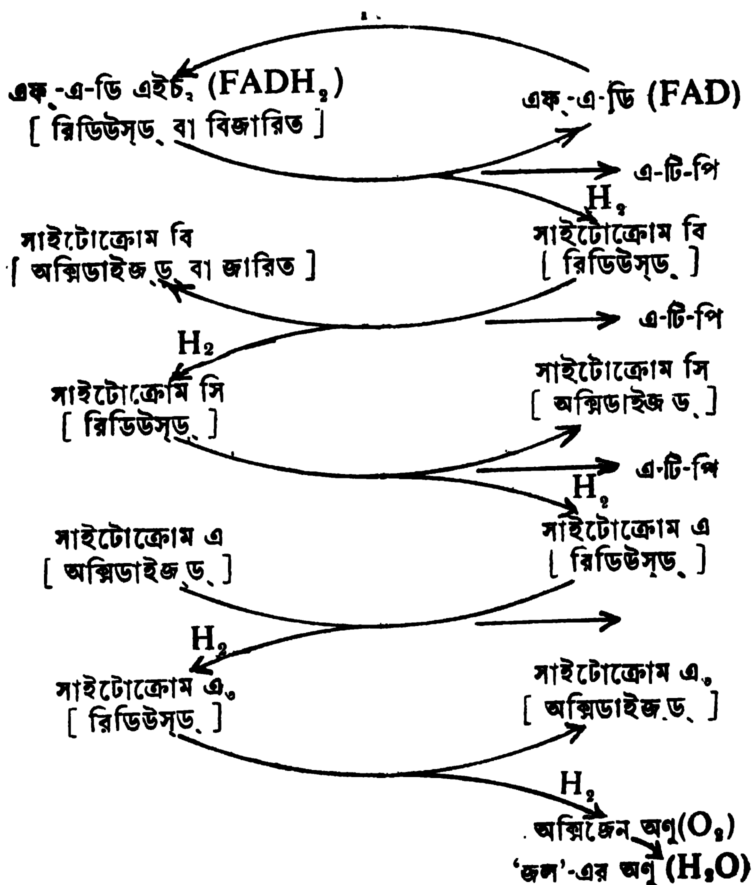
উক্ত তিনটি দ্রব্য সম্পূর্ণরূপে অক্সিডাইজ্‌ড্‌ (oxidized বা জারিত) হয়ে কার্বনডায়ক্সাইড ($CO_2$) ও জল ($H_2O$) সৃষ্টি হয়। এই অক্সিডেশানের ফলে যে মুক্ত-হাইড্রোজেন-এর (free hydrogen) বা ইলেকট্রনের (electron) সৃষ্টি হয় সেগুলি শ্বাসক্রিয়ার অন্তিম-অঙ্কের 'ইলেকট্রন ট্র্যান্স্‌ফার চক্রে' প্রবেশ করে।

**ইলেকট্রন ট্র্যান্স্‌ফার চক্র** *(Electron transfer cycle)*ঃ

মাইটোকন্‌ড্রিয়ার ভিতরের মেমব্রেনের গ্র্যানিউলগুলিতে এই চক্রটি সংঘটিত হয়। এই চক্রে **সাইটোক্রোম** (cytochrome) নামক পিগ্‌মেন্ট-গুলি (pigments বা রঙ্গক) বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ অংশ গ্রহণ করে। 'সাইটোক্রোম' (সাইটো = কোষ, ক্রোম = রঙ) নামটি থেকেই বোঝা যাচ্ছে যে, এটি কোষস্থ একপ্রকার রঙের দানা। এরা কয়েকটি ধারাবাহিক অক্সি-ডেশান-রিডাকশান রিঅ্যাক্‌শানের (oxidation-reduction reactions) সাহায্যে দ্রুত ইলেকট্রন ট্র্যান্সফার ঘটিয়ে অতি অল্প-সময়ের মধ্যেই প্রচুর 'শক্তি'-র সৃষ্টি করে। সাইটোক্রোম কয়েকটি ভিন্ন-ভিন্ন প্রকারের হয়, যথা, সাইটোক্রোম এ (cytochrome *a*), সাইটোক্রোম এ২ ও এ৩ (cytochrome $a_2$ and $a_3$), সাইটোক্রোম বি (cytochrome *b*), সাইটেক্রোম সি (cytochrome *c*), ইত্যাদি।

পূর্ববর্তী চক্রে যে মুক্ত-হাইড্রোজেন (free hydrogen) অণুগুলির বা ইলেকট্রনগুলির সৃষ্টি হয়, সেগুলি **ফ্লেভোপ্রোটীন**[১] (Flavoprotein) নামে একটি এনজাইম দ্বারা বাহিত হয়ে এসে 'সাইটোক্রোম বি'-র সঙ্গে যুক্ত হয়, যা আবার সেগুলিকে 'সাইটোক্রোম সি'-তে হস্তান্তরিত করে, সেখান থেকে ওগুলি 'সাইটোক্রোম এ' এবং পরিশেষে 'সাইটোক্রোম এ৩'-তে হস্তান্তরিত হয়। সাইটোক্রোম এ৩ থেকে ইলেকট্রনগুলি বার হয়ে এসে অক্সিজেন-এর সঙ্গে যুক্ত হয়, যার ফলে সৃষ্টি হয় জল। ইলেকট্রন ট্রান্সফারের উপরোল্লিখিত প্রতিটি ক্ষেত্রে 'এ-টি-পি' (ATP) সৃষ্টি হয়ে থাকে। এইভাবে মাইটোকনড্রিয়ার মধ্যে প্রাণধারক-কার্যাদির (vital activities) জন্য প্রয়োজনীয় 'শক্তি' প্রচুর পরিমাণে উৎপাদিত হয়।

১ ফ্লেভিন-যুক্ত এনজাইমগুলিকে 'ফ্লেভোপ্রোটীন' বলা হয়। এই এনজাইম-গুলির অত্যাবশ্যকীয় উপাদান হচ্ছে, **ফ্লেভিন-অ্যাডেনিন-ডাইনিউক্লিওটাইড** (flavin-adenine-dinucleotide)। সেই কারণে সংক্ষেপে এদের বলা হয় **এফ্‌-এ-ডি** (FAD)।




ইলেকট্রন ট্র্যান্সফার চক্রের নক্সা।

## রূপান্তর

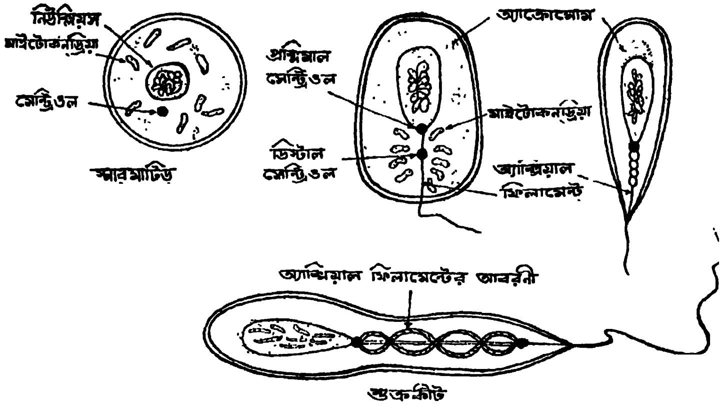
## (Transformation)

কোন-কোন ক্ষেত্রে মাইটোকন্ড্রিয়ার আকৃতির আমূল পরিবর্তন ঘটে; একে মাইটোকন্ড্রিয়ার 'রূপান্তর' বলা যেতে পারে। নীচে এই রূপান্তরের কয়েকটি ঘটনার উল্লেখ করা হ'ল।

'রানা পাইপিয়েন্স্' (*Rana pipiens*) নামে ব্যাঙের এবং 'প্ল্যানরবিস' (*Planorbis*) নামে শামুকের উসাইট্-এ (oocyte) কতিপয় মাইটো-

কন্‌ড্রিয়া ডিমের কুসুম বা পীতাংশে (yolk bodies) রূপান্তরিত হয়। এইসব মাইটোকন্‌ড্রিয়ার কেন্দ্রে কুসুম-কণিকা জমা হয়ে ক্রিস্টাগুলিকে (cristae) পরিধির দিকে ঠেলে দেয়। ফলে মাইটোকন্‌ড্রিয়ার আদর্শ-রূপের অতি অল্পই অবশিষ্ট থাকে এবং এদের তখন ডিমের কুসুম ব্যতীত অন্য কোন বস্তু-রূপে সনাক্ত করা সম্ভব হয় না।

মাইটোকন্‌ড্রিয়ার আকৃতির সর্বাপেক্ষা উল্লেখযোগ্য রূপান্তর লক্ষ্য করা যায় স্পার্মাটিড-এর (spermatid) শুক্রকীটে (spermatozoa) পরিণতি-লাভের কালে। 'হেলিক্স্ পোমেশিয়া' (*Helix pomatia*) নামে শামুক এবং অনেক মেরুদণ্ডী প্রাণিতে স্পার্মাটিডগুলি যখন শুক্রকীটে পরিণতি লাভ করে তখন মাইটোকন্‌ড্রিয়াগুলির একের প্রান্তভাগ অপরের প্রান্ত-ভাগের সঙ্গে যুক্ত হয়ে যায় এবং ঐ অবস্থায় তারা শুক্রকীটের লেজের অ্যাক্সিয়াল ফিলামেন্টের (axial filament) চতুর্দিকে একটি আবরণীর সৃষ্টি করে (২৩নং চিত্র)।

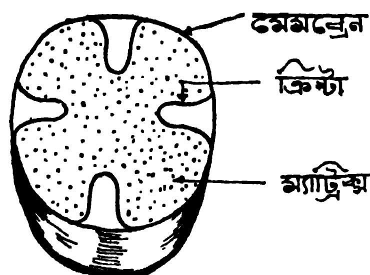



২৩ নং চিত্র :—স্পার্মাটিডের শুক্রকীটে পরিণতিলাভের কালে মাইটোকন্‌ড্রিয়ার রূপান্তর।

## উৎপত্তি

মাইটোকন্‌ড্রিয়ার উৎপত্তি সম্পর্কে দুটি ভিন্ন-ভিন্ন মতের প্রচলন আছে। যথা, (১) এরা স্বতঃস্ফূর্তভাবে জন্মগ্রহণ করে (*de novo* origin) এবং (২) পূর্ববর্তী মাইটোকন্‌ড্রিয়া থেকে নতুনের জন্ম হয়।

কিছুকাল উপবাসে রাখা প্রাণির লিভারের রিজেনারেশান (regeneration) বা পুনরুৎপত্তি সংক্রান্ত পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে মাইটোকন্‌ড্রিয়ার উৎপত্তি সম্পর্কে গুরুত্বপূর্ণ তথ্য সংগ্রহ করা সম্ভব হয়েছে। রিজেনারেটেড বা পুনরুৎপাদিত কোষগুলির মধ্যে অনেক **মাইক্রোবডি** (microbody) জমা হতে দেখা যায়। প্রতিটি মাইক্রোবডিতে একটিমাত্র মেমব্রেন, অল্প কয়েকটি ক্রিস্টা এবং একটি ঘন ম্যাট্রিক্স্ থাকে (২৪ নং চিত্র)। মাইক্রোবডিগুলি ক্রমে ক্রমে মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় পরিণত হয়। স্তন্যপায়ী প্রাণির ভ্রূণের ডেভেলপ্‌মেন্ট বা ক্রমবর্ধনের সময়েও তাদের লিভার এবং প্যান্‌ক্রিয়াসে এই ব্যাপার লক্ষ্য করা গেছে।




২৪ নং চিত্র :—মাইক্রোবডি [ তিন-মাত্রাযুক্ত নক্সাকার চিত্র ]।

মাইটোকন্‌ড্রিয়ার উৎপত্তি সম্পর্কে আর যেসব ধারণা প্রচলিত আছে তাদের মধ্যে একটি হচ্ছে, পিনোসাইটোসিস প্রক্রিয়ায় সৃষ্ট গহ্বর থেকে তাদের উৎপত্তি। কিন্তু এই ধারণার স্বপক্ষে এখনও পর্যন্ত কোন প্রত্যক্ষ প্রমাণ লাভ করা সম্ভব হয় নি।

মাইটোকন্‌ড্রিয়ার উৎপত্তির আর একটি সম্ভাব্য উপায় হচ্ছে, তাদের খণ্ডিত হওয়া এবং হৃত-অংশ পুনরুৎপাদিত হওয়া। অনেক কোষে তাদের আড়াআড়িভাবে (transversely) অথবা লম্বালম্বিভাবে (longitudinally) কয়েকটি খণ্ডে বিভক্ত হতে দেখা গেছে। ঐ খণ্ডগুলি উত্তরকালে পরিণত মাইটোকন্‌ড্রিয়া রূপে প্রকাশলাভ করে।

# ৯ ॥ নিউক্লিয়স

## (Nucleus)

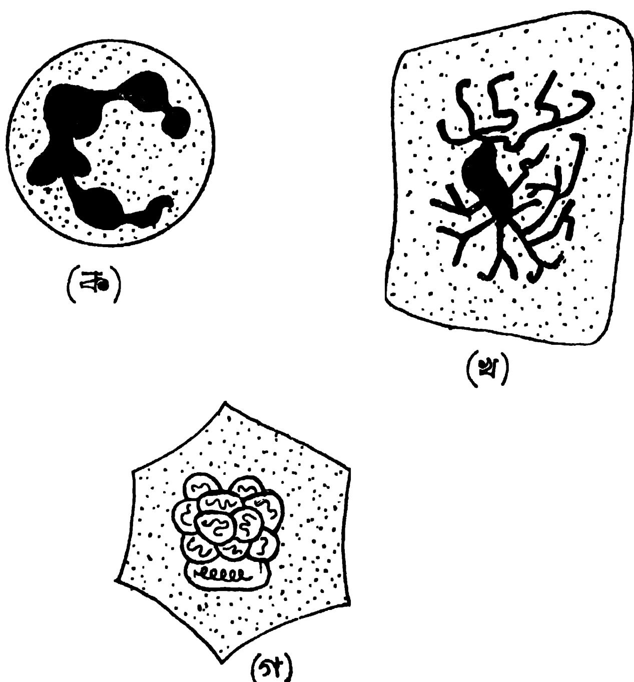
কোষকে যদি একটি কারখানা হিসাবে কল্পনা করা যায়, তাহলে 'নিউক্লিয়স' সেই কারখানার 'পরিচালন কর্তা' (director), কেননা, কোষের যাবতীয় কার্য নিয়ন্ত্রিত হয় নিউক্লিয়স-এর দ্বারা। নিউক্লিয়স কোষের একটি অপরিহার্য অঙ্গ। নিউক্লিয়স ব্যতীত কোষ বাঁচতে পারে না [একমাত্র ব্যতিক্রম স্তন্যপায়ী প্রাণিদের পরিণত লোহিত-কণিকা (red blood corpuscles), যদিও এদের সৃষ্টির সময় নিউক্লিয়স থাকে]। অবশ্য এ কথাটা মনে রাখতে হবে যে, কোষের সাইটোপ্লাজ্‌ম-কে ছাড়া নিউক্লিয়স-এর পক্ষেও বাঁচা সম্ভব নয়।

### সংখ্যা (কোষ প্রতি)

অধিকাংশ কোষেই সাধারণত একটি করে নিউক্লিয়স দেখা যায়। তবে কোন-কোন কোষে তাদের সংখ্যা একাধিকও হতে পারে। যেমন, এক-কোষী প্রাণী 'প্যারামিসিয়াম'-এর (*Paramoecium*) বিভিন্ন স্পিসিস-এ এই সংখ্যা ২—১০টি পর্যন্ত হয়ে থাকে। মেরুদণ্ডী প্রাণিদের ভলান্‌টারি বা ঐচ্ছিক পেশীসমূহের (voluntary muscles) কোষেও এদের সংখ্যা একাধিক (৩থ নং চিত্র)। ভাউকেরিয়া (*Vaucheria*) নামে মিঠা-জলের একপ্রকার শৈবালের (alga) কোষগুলি বেশ বড়-বড় হয় এবং প্রতিটি কোষে শতাধিক নিউক্লিয়স থাকে। একাধিক নিউক্লিয়সযুক্ত প্রাণিকোষকে বলা হয় **সিন্‌সিটিয়া** (syncytia), পক্ষান্তরে, ঐরূপ বৈশিষ্ট্যযুক্ত উদ্ভিদ্‌কোষকে বলা হয় **সিনোসাইট** (coenocyte)।

### আকৃতি (shape)

অধিকাংশ কোষেই নিউক্লিয়স-এর আকৃতি মোটামুটি গোলাকার অথবা ডিম্বাকার (ellipsoid) হয়ে থাকে। তবে কোন-কোন প্রকার কোষে অদ্ভুত আকৃতিবিশিষ্ট নিউক্লিয়সও দেখা যায়। যেমন, মেরুদণ্ডী প্রাণিদের রক্তের কতিপয় শ্বেতকণিকার [যথা, গ্র্যানিউলোসাইট (granulocyte)] নিউক্লিয়স একটু লম্বাটে ধরণের হয় এবং তার স্থানে-স্থানে ফোলা থাকে (২৫ক নং চিত্র)। ঐ একই আকৃতির নিউক্লিয়স মেরুদণ্ডী প্রাণিদের বোন-ম্যারোর




২৫ নং চিত্র :—অদ্ভুত আকৃতিবিশিষ্ট নিউক্লিয়সসমূহ। (ক) একটি মেরুদণ্ডী প্রাণির বোন-ম্যারোর কোষে; (খ) 'ক্যাডিস ফ্লাই'-এর স্পিনিং গ্রন্থির কোষে; (গ) 'অলার্চিস' (*Aularches*) নামে ঘাস ফড়িঙ-এর স্পার্মাটোগোনিয়ামেই

(bone marrow) বা অস্থি-মজ্জার কোষে এবং 'কণ্ডাইলোস্টোমা' (Condylostoma), 'এফিলোটা' (*Ephelota*) প্রভৃতি সিলিয়েট (ciliate)-গোষ্ঠীভুক্ত কয়েকটি এককোষী প্রাণিতেও দেখা যায়। বহু পতঙ্গের সেক্রিটরী বা ক্ষরণকারী কোষসমূহের, যেমন, রেশম মথের শূক-এর (caterpillar) রেশম-গ্রন্থির, 'ক্যাডিস ফ্লাই'-এর (caddis fly) স্পিনিং গ্রন্থির এবং 'পণ্ড্-স্কেটার্'-এর (pond-skaters) লালা-গ্রন্থির কোষ-সমূহের নিউক্লিয়সগুলি শাখাপ্রশাখা-সমন্বিত হয় (২৫খ নং চিত্র)।

কয়েকটি ক্ষেত্রে দেখা যায় যে, ইন্টারফেজ (interphase) ও প্রোফেজ্ (prophase) নিউক্লিয়সগুলি কতিপয় ছোট-ছোট ভেসিক্‌ল্-এর (vesi-cle) সমন্বয়ে গঠিত। প্রতিটি ভেসিক্‌লের ভিতর একটি করে ক্রোমো-

সোম থাকে। অর্থাৎ, প্রতিটি ক্রোমোসোম একটি পৃথক্ মেমব্রেন বা 'ক্যারিওমীয়ার' (Karyomere) দ্বারা ঘেরা থাকে (২৫গ নং চিত্র)। এই ধরণের নিউক্লিয়সের সর্বোত্তম উদাহরণ হচ্ছে, 'পেডিকিউলপ্সিস' (*Pediculopsis*) নামীয় মাইট (mite)-এর ক্লীভেজ-এর (cleavage) প্রারম্ভাবস্থার (early stage) কোষসমূহের নিউক্লিয়স। কোন-কোন ঘাস ফড়িঙের (grass hopper) স্পার্মাটোগোনিয়াম-এও (spermatogonium) এইধরণের নিউক্লিয়স দেখা যায়।

## আয়তন (size)

প্রতিটি কোষে নিউক্লিয়সের আয়তন সমান হয় না। আবার, কোন একটি বিশেষ কোষের নিউক্লিয়স কোষটির জীবদ্দশার সর্বসময়ে একই আয়তন-বিশিষ্ট থাকে না। তবে সাধারণত প্রতি প্রকার কোষের নিউক্লিয়স ও কোষের সাইটোপ্লাজ্মের আয়তনের একটি নির্দিষ্ট অনুপাত আছে, যা প্রতি প্রকার কোষের বৈশিষ্ট্য। নিউক্লিয়স ও সাইটোপ্লাজ্মের আয়তনের এই অনুপাতকে নিউক্লিও-সাইটোপ্লাজ্মিক ইনডেক্স (nucleo-cytoplasmic index বা NP) বলা হয়ে থাকে। এই ইনডেক্সকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যেতে পারেঃ—

$$NP = \frac{V_n}{V_c - V_n}$$

[যেখানে $V_n$ হচ্ছে 'নিউক্লিয়সের আয়তন' এবং $V_c$ হচ্ছে 'সাইটোপ্লাজ্মের আয়তন']।

সাইটোপ্লাজ্মের আয়তনের তুলনায় নিউক্লিয়সের আয়তন খুব কম হ'লে নিউক্লিয়সের পক্ষে সাইটোপ্লাজ্মের কার্যকলাপকে নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব হয় না। নিউক্লিও-সাইটোপ্লাজ্মিক ইনডেক্সের হ্রাস কোষ-বিভাজনের উদ্দীপক (stimulus) হিসাবে কাজ করে বলে অনুমিত হয়। যেসব কোষের বিভাজন হয় না, তাদের এই ইনডেক্স কখনই এক-সপ্তমাংশ (১/৭) থেকে এক-দ্বাদশাংশকে (১/১২) অতিক্রম করে না।

নিউক্লিয়সের আয়তন তার ভিতরের ক্রোমোসোমসংখ্যার ফাঙ্শন্ (function বা অপেক্ষক)। ডিপ্লয়েড[১] (diploid) সংখ্যার চেয়েও অধিক-সংখ্যক ক্রোমোসোম যেসব কোষে থাকে তাদের নিউক্লিয়স সাধা-

১ যেসব কোষের নিউক্লিয়সে প্রতিটি ক্রোমোসোম দুই প্রস্থ (set) করে বিরাজ করে তাদের 'ডিপ্লয়েড কোষ' (diploid cells) বলা হয়। অপরপক্ষে, প্রতিটি ক্রোমোসোম এক প্রস্থ করে থাকলে ঐসব কোষকে 'হ্যাপ্লয়েড কোষ' (haploid cells) বলা হয়ে থাকে।

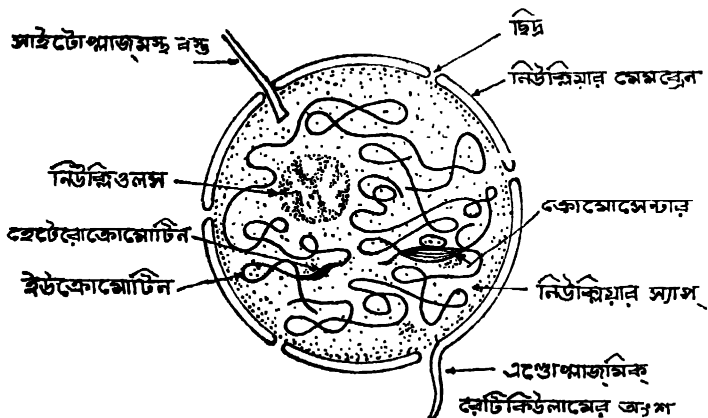
রণত বড় হয়ে থাকে, যেহেতু 'ডি-এন-এ'-র (DNA) পরিমাণ ও নিউক্লিয়সের আয়তন পরস্পর সম্পর্কযুক্ত. আবার ক্রোমোসোমের সংখ্যা 'ডি-এন-এ'-র পরিমাণের সংগে প্রত্যক্ষ সম্পর্কযুক্ত।

## গঠন (Structure)

নিউক্লিয়সের প্রধান উপাদানগুলি হচ্ছেঃ— নিউক্লিয়ার মেমব্রেন (nuclear membrane), ক্রোমাটিন (chromatin), সেক্স ক্রোমাটিন (sex chromatin), নিউক্লিয়ার স্যাপ (nuclear sap or karyolymph) এবং নিউক্লিওলস (nucleolus)।

**নিউক্লিয়ার মেমব্রেন** (*Nuclear membrane*)**ঃ**

যে মেমব্রেনটি নিউক্লিয়সের ভিতরের বস্তুসমূহকে সন্নিকটস্থ সাইটোপ্লাজম থেকে পৃথক করে রাখে তার নাম 'নিউক্লিয়ার মেমব্রেন'। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে জানা গেছে যে এই মেমব্রেনটি দুই প্রস্থ 'ইউনিট মেমব্রেন' (double layers of unit membrane) দ্বারা তৈরী (২৬নং চিত্র), এবং মেমব্রেনটি অসংখ্য ছিদ্রযুক্ত। প্রতি প্রস্থ 'ইউনিট মেমব্রেন' প্রায় ৯০ অ্যাংস্ট্রম পুরু এবং প্রতিটি ছিদ্রের ব্যাস

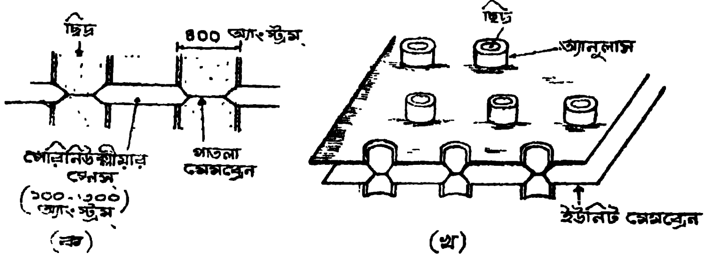



২৬ নং চিত্র :—একটি নিউক্লিয়সের ইণ্টারফেজ দশার মরফোলজি।

আনুমানিক ৪০০ অ্যাংস্ট্রম। বাইরের এবং ভিতরের মেমব্রেনটির মধ্যবর্তী ফাঁকা স্থানটিকে বলা হয় **পেরিনিউক্লিয়ার স্পেস** (perinuclear space),

এটি ১০০—৩০০ অ্যাংস্ট্রম চওড়া। ছিদ্রগুলির প্রান্তে ইউনিট মেমব্রেন-দু'টি পরস্পরের সঙ্গে সংযুক্ত থাকে (২৭নং চিত্র)।

অনেক জায়গায় নিউক্লিয়ার মেমব্রেনকে এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউ-লামের মেমব্রেনগুলির সঙ্গে যুক্ত থাকতে দেখা যায় এবং এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলাম পর্যায়ক্রমে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের সঙ্গে যুক্ত থাকে (৫নং চিত্র)




২৭ নং চিত্র :—নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের সূক্ষ্ম-গঠন।

'মলিসিয়া' (*Mollisia*) নামক অ্যাস্‌কোমাইসিটিস (ascomycetes)-বর্গের ছত্রাকের অ্যাপোথেসিয়াল কোষে (apothecial cells) অর্থাৎ পুনরুৎপাদী কোষে কোন-কোন স্থানে নিউক্লিয়ার মেমব্রেনকে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের সঙ্গে প্রত্যক্ষ ভাবে যুক্ত থাকতে দেখা যায়। উপরিউক্ত দৃষ্টান্তগুলি থেকে অনুমিত হয় যে প্লাজ্‌মা-মেমব্রেন ও নিউক্লিয়ার মেমব্রেন অঙ্গাঙ্গিভাবে জড়িত, অন্তত অ্যাস্‌কোমাইসিটিস-এর মত আদিম-প্রকৃতির (primitive) কোষে।

নিউক্লিয়সের কোন-কোন জায়গায় নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের ছিদ্রগুলিকে ঘিরে একটি নলাকার কাঠামো (cylindrical structure) বা **অ্যানুলাস** (annulus বা বলয়) দেখা যায় (২৭খ নং চিত্র)। **আফজেলিয়াস** (Afzelius) ১৯৫৫ সালে সর্বপ্রথম এর উল্লেখ করেন। প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনকে নিউক্লিয়সের পৃষ্ঠভাগের সঙ্গে স্পর্শকরূপে (tangentially) ছেদ করা হ'লে অ্যানুলাসগুলি স্পষ্টরূপে দৃষ্টিগোচর হয়। অনেক গবেষক মেমব্রেনের ছিদ্রের ভিতর সাইটোপ্লাজ্‌মস্থ কোন বস্তুকে প্রবিষ্ট থাকতে (cytoplasmic extrusion) দেখেছেন (২৬নং চিত্র)। নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের অ্যানুলাসগুলি মেমব্রেনস্থ বিশেষ অংশ হওয়ার চেয়েও, —মেমব্রেনের ছিদ্রের ভিতর দিয়ে প্রসারিত সাইটোপ্লাজ্‌মস্থ কোন বস্তু হওয়াই সম্ভব। প্রতিটি ছিদ্রকে অ্যানুলাসের ভিতর আড়াআড়িভাবে অবস্থিত একটি পাতলা মেমব্রেন দ্বারা বন্ধ থাকতে দেখা যায় (২৭ক নং চিত্র)।

নিউক্লীয়ার মেমব্রেনের পার্মিয়েবিলিটি (permeability) বা ভেদ্যতা নির্দিষ্টরূপে নিরূপণ করা সহজ নয়। কেননা, বিভিন্ন বস্তু —মেমব্রেনের ছিদ্রগুলির ভিতর দিয়ে, অথবা —মেমব্রেনের সঙ্গে সাইটোপ্লাজ্মস্থ মেমব্রেনতন্ত্রের (membrane system) সংযুক্তির ফলে যে নালী-পথের সৃষ্টি হয় তাদের মধ্যে দিয়ে, চলাচল করতে পারে। নিউক্লিয়াস এবং সাইটোপ্লাজ্মের মধ্যে যেসব পদার্থের আদান-প্রদান হয় তার বেশ কিছুটা অংশ মেমব্রেনের নিজের ভিতর দিয়েই ঘটে থাকে, কেননা, মেমব্রেনের পৃষ্ঠাঞ্চলের (surface area) শতকরা মাত্র ১০ ভাগ স্থান ছিদ্রযুক্ত। এই ব্যাপারে নিউক্লিয়ার মেমব্রেন 'সিলেকটিভলি পার্মিয়েব্‌ল্' (selectively permable), এবং এর ভিতর দিয়ে বিভিন্ন বস্তুর চলাচলের উপায়গুলি চতুর্থ অধ্যায়ে বর্ণিত প্লাজ্মা-মেমব্রেনের ভিতর দিয়ে বিভিন্ন পদার্থের চলাচলের উপায়গুলির মতই।

নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের প্রতিটি 'ইউনিট মেমব্রেন' কোষস্থ অন্যান্য অঙ্গের মেমব্রেনের মত প্রোটীন ও লিপিড দিয়ে তৈরী।

**ক্রোমাটিন** (*Chromatin*)**ঃ**

'ক্রোমাটিন' শব্দটি অনিশ্চিত অর্থবোধক। সুতরাং, এর সম্পর্কে কিছু ব্যাখ্যা দেওয়া প্রয়োজন। নিউক্লিয়সের ইন্টারফেজ্ (interphase) দশায় অর্থাৎ, নিউক্লিয়সের যখন বিভাজন (division) হয় না সেইসময়ে, তার ভিতরকার ক্রোমোসোমগুলি সাধারণত খুব লম্বা এবং অতি অল্প পরিমাণে কয়েল্‌ড্ (coiled বা কুণ্ডলীকৃত) থাকে। এইসময়ে তারা খুব সরু সুতোর মত পরস্পর এমনভাবে জড়িয়ে থাকে যে তাদের পৃথক্-পৃথক্ ভাবে চিনতে পারা যায় না। যদিও প্রতিটি ক্রোমোসোম এক বা একাধিক সরু সুতোর মত অংশ দ্বারা গঠিত থাকে, তথাপি নিউক্লিয়সটি মোটামুটি গ্র্যানিউলার (granular) বা দানাদার দেখায়। এর কারণ মূলত, নিউক্লিয়সটির হাইড্রেটেড (hydrated) বা সোদক অবস্থা এবং ক্রোমোসোমগুলির জট পাকিয়ে অবস্থান। ক্রোমোসোমগুলি বেসিক রঙে (basic dyes), বিশেষ করে ফয়েলগেন পদ্ধতিতে (Feulgen method) তৈরী করা বেসিক ফুক্সিন-এ (basic fuchsin), সহজে স্টেন হয়। উক্ত পদ্ধতিতে তৈরী বেসিক ফুক্সিন কেবলমাত্র 'ডি-এন-এ'-কে (DNA) স্টেন্ করে। এই ডি-এন-এ ক্রোমোসোমের একটি গুরুত্বপূর্ণ উপাদান। কহ্‌ন (Cohn)-এর দেওয়া সংজ্ঞা অনুযায়ী, "ইন্টারফেজ দশায় এবং পরবর্তীকালে কোষ-বিভাজনের বিভিন্ন দশায় নিউক্লিয়সের ভিতরকার

যে-সকল বস্তু ফয়েলগেন পদ্ধতিতে তৈরী রঙে স্টেন্ হয়, তারাই 'ক্রোমাটিন' রূপে পরিচিত।" অন্যভাবে বলা যায় যে, 'ক্রোমাটিন' ক্রোমোসোমের উপাদানগুলিকে বোঝানোর জন্য একটি নির্দিষ্ট অর্থবোধক শব্দ।

সজীব নিউক্লিয়সে ইণ্টারফেজ দশায়, দৃশ্যমান আলোকরশ্মি ব্যবহৃত অণুবীক্ষণ যন্ত্রে (light microscope) ক্রোমাটিনকে সাধারণত দেখা যায় না, অথবা, দেখা গেলেও তা খুব অস্পষ্টরূপে প্রতিভাত হয়। এর কারণ, এই সময়ে তাদের রিফ্র্যাক্টিভ ইন্ডেক্স্ (refractive index বা প্রতি-সরাঙ্ক) নিউক্লিয়ার স্যাপের (nuclear sap) রিফ্র্যাক্টিভ ইন্ডেক্সের খুব কাছাকাছি থাকে। কোষ-বিভাজনের সময় তাদের হাইড্রেশানের (hydra-tion) বা জলযোজনের পরিমাণের পরিবর্তন ঘটার সাথে-সাথে তারা দৃষ্টিগোচর হয়।

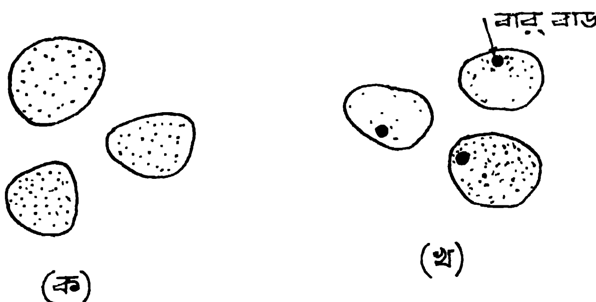
ইণ্টারফেজ দশায় ক্রোমাটিন পিণ্ডের কোন-কোন অঞ্চল গাঢ়ভাবে স্টেন্ হয়। ক্রোমোসোমের যে-সকল অংশ ইণ্টারফেজ দশায় অন্যান্য অংশের তুলনায় বেশী রঙ গ্রহণ করে (অর্থাৎ, গাঢ়ভাবে স্টেন্ হয়), আবার কোষবিভা-জনের সময় অন্যান্য অংশের তুলনায় কম রঙ গ্রহণ করে ফিকেভাবে স্টেন্ হয়, তাদের **হেটেরোক্রোমাটিক অঞ্চল** (heterochromatic regions) বা **হেটেরোক্রোমাটিন** বলা হয়ে থাকে (২৬নং চিত্র)। এই 'হেটেরোক্রোমাটিন' নির্দিষ্ট ক্রোমোসোমের নির্দিষ্ট অংশে দেখা যায়। সে যা হোক, ক্রোমাটিনের এরূপ বৈষম্যমূলকভাবে (differntially) স্টেন্ হওয়ার কারণ, অংশত, ক্রোমোসোম-সুতোর কয়েল্-এর (coil বা কুণ্ডলী) পরিমাণ। ক্রোমোসোম-সুতোর যেসব অঞ্চল খুব আঁটসাঁটভাবে (tightly) কয়েল্ড্ বা কুণ্ডলীকৃত থাকে সেসব অঞ্চলে ক্রোমাটিন-পদার্থের ঘনত্ব (density) বেশী হওয়ায় ঐ সব অঞ্চল গাঢ়ভাবে স্টেন্ হয়। গাঢ় অঞ্চল-গুলিতে ক্রোমোসোম-দেহে প্রায়ই কতকগুলি ছোট-ছোট গুটিকা-র মত অংশ (beaded structures) চোখে পড়ে। এই গুটিকার মত অংশগুলিকে **ক্রোমোমীয়ার** (chromomere) আখ্যা দেওয়া হয়ে থাকে (এদের সম্বন্ধে দশম অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচনা করা হয়েছে)। কিছু-কিছু সাক্ষ্য-প্রমাণাদি এটি নির্দেশ করে যে হেটেরোক্রোমাটিক অঞ্চলগুলিতে **ইউক্রোমাটিক অঞ্চলের** (euchromatic regions) বা নন-হেটেরোক্রোমাটিক অঞ্চলের (non-heterochromatic regions) তুলনায় বেশী পরিমাণ আর-এন-এ (RNA) থাকে।

কোন-কোন প্রকারের কোষে, যেমন 'ডিপ্টেরা'-র (diptera) লালা-গ্রন্থির (salivary glands) কোষে, ক্রোমোসোমকে স্টেন্ করার রঙগুলির

(chromosomal dyes) দ্বারা ইণ্টারফেজ দশায় নিউক্লিয়সের ভিতর এক বা একাধিক বড় অংশ গাঢ়ভাবে স্টেন্ হয়। এদের বৃহৎ আকারের জন্য ক্রোমোমীয়ারগুলি থেকে সহজেই এদের পৃথক্‌ভাবে চিনতে পারা যায়। এই অংশগুলিকে **ক্রোমোসেণ্টার** বা **প্রোক্রোমোসোম** (chromocentre বা prochromosome) বলা হয়ে থাকে (২৬নং চিত্র)। নিউক্লিয়সের কতকগুলি ক্রোমোসোমের, অথবা কোন-কোন ক্ষেত্রে সবক'টি ক্রোমোসোমের, হেটেরোক্রোমাটিক অঞ্চলগুলি যুক্ত হয়ে ক্রোমোসেণ্টার-এর সৃষ্টি হয়। 'ড্রসোফিলা'-র (*Drosophila*) লালা-গ্রন্থির কোষে শেষোক্ত অবস্থাটি বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়।

**সেক্স্ ক্রোমাটিন** (*Sex chromatin*)ঃ

বহু স্তন্যপায়ী প্রাণির (যথা, মানুষ, কুকুর, বিড়াল, খরগোশ, অপোসাম, ইঁদুর ইত্যাদি) এবং অন্যান্য আরও কয়েকটি মেরুদণ্ডী প্রাণির (যথা, মুরগী) নিউক্লিয়সের ভিতর ইণ্টারফেজ় দশায় একটি সুনির্দিষ্ট হেটেরোক্রোমাটিক পদার্থ দেখা যায়, যাকে 'সেক্স্ ক্রোমাটিন' বা তার আবিষ্কারক




২৮ নং চিত্র :—(ক) পুরুষ মানুষের কোষের কয়েকটি নিউক্লিয়স; (খ) মহিলাদের কোষের কয়েকটি নিউক্লিয়স।

**এম. এল্. বার্** (M. L. Barr)-এর নাম অনুযায়ী **বার্ বডি** (Barr body) বলা হয়ে থাকে (২৮নং চিত্র)। স্ত্রী-জ়াতির অধিকাংশ নিউক্লিয়সে এদের দেখা মেলে। নিউক্লিয়সকে যেসব রঙ দিয়ে স্টেন্ করা হয় (nuclear stains) তাদের সাহায্যে স্ত্রী-জাতির বিভিন্ন টিসুর (tissues) শতকরা ৫০—৮০ ভাগ কোষে এবং পুরুষ-জাতির শতকরা অনধিক ১৫

ভাগ কোষে এদের উপস্থিতি লক্ষ্য করা যায়। কোন-কোন টিস্যুর নিউ-ক্লিয়সে আবার এদের মোটেই দেখা যায় না।

অধিকাংশ ক্ষেত্রে নিউক্লিয়সের পরিধির কাছে, অর্থাৎ নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের কাছে, 'বার্ বডি' অবস্থিত থাকে; তবে, কোষের প্রকার ভেদে বা স্পিসিস্ ভেদে এটি নিউক্লিয়সের অন্যান্য অংশেও থাকতে পারে। একই প্রাণির বিভিন্ন প্রকার কোষের নিউক্লিয়সে বার্ বডির অবস্থান বিভিন্ন হতে দেখা গেছে। অবস্থানের এই বিভিন্নতা সত্ত্বেও বিভিন্ন স্পিসিসে অথবা একই স্পিসিসের বিভিন্ন টিস্যুতে এদের আয়তনে খুব সামান্য মাত্রায় পার্থক্য দেখা যায়। সেক্স্ ক্রোমাটিন বা বার্ বডি-র আনু-মানিক ব্যাস ০·৮—১·১ মাইক্রা হয়ে থাকে।

**ডি. জি. হার্ন্ডেন** এবং **পি. এ. জেকব্স্** (D. G. Harnden and P. A. Jacobs) দেখিয়েছেন যে, মানুষের ক্ষেত্রে প্রতি নিউক্লিয়সে সেক্স্ ক্রোমাটিন বডির সংখ্যা নিউক্লিয়সে অবস্থিত এক্স্-ক্রোমোসোমের (X-chromosome) সংখ্যার চেয়ে একটি কম হয়ে থাকে। (এক্স্-ক্রোমো-সোম সম্পর্কে "সাইটোলজি ও জেনেটিক্স্"-এর দ্বিতীয় খণ্ডের চতুর্থ অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে)। মহিলাদের নিউক্লিয়সে দু'টি এক্স্-ক্রোমো-সোম থাকায় সেক্স্ ক্রোমাটিন বডি থাকে একটি এবং পুরুষ মানুষের নিউক্লিয়সে এক্স্-ক্রোমোসোমের সংখ্যা একটি হওয়ায় সেক্স্ ক্রোমাটিন বডি মোটেই দেখা যায় না। **এম. এফ. লিয়ঁ** (M. F. Lyon) সাইটো-লজিক্যাল ও জেনেটিক সাক্ষ্য-প্রমাণাদি (cytological and genetic evidences) থেকে সিদ্ধান্ত করেন যে, মানুষসহ বিভিন্ন স্তন্যপায়ী প্রাণীর স্ত্রী-জাতির কোষে একটি এক্স্-ক্রোমোসোম 'হেটেরোপিকনোটিক' (heteropycnotic) হয়ে যায় (অর্থাৎ, অন্যান্য ক্রোমোসোমের তুলনায় গাঢ়ভাবে স্টেন্ হয়) এবং এই হেটেরোপিকনোটিক ক্রোমোসোমটি জীন-সংক্রান্ত ব্যাপারে নিষ্ক্রিয় থাকে (genetically inert)।

**নিউক্লিয়ার স্যাপ** (*Nuclear sap or Karyolymph*)ঃ

নিউক্লিয়সের ভিতর একটি তরল (fluid) পদার্থ থাকে, যা ক্রোমোসোম ও নিউক্লিওলস-এর চতুর্দিকে নিউক্লিয়সের মধ্যে যে ফাঁকা স্থানটি থাকে তাকে ভরিয়ে রাখে। এই তরল পদার্থটিকে বলা হয়, নিউক্লিয়ার স্যাপ (Nuclear sap) বা ক্যারিওলিম্ফ্ (Karyolymph)। এই ক্যারিও-লিম্ফ্ প্রধানত প্রোটীন দ্বারা তৈরী এবং সম্ভবত নিউক্লিয়সের ভিতর-কার কতিপয় এনজাইম-এর আবাসস্থল।

**নিউক্লিওলাস (*Nucleolus*)ঃ**

নিউক্লিয়সের ভিতর এক বা একাধিক অপেক্ষাকৃত বড় এবং সাধারণত গোলাকার দেহ দেখা যায়, তাদের বলা হয় নিউক্লিওলস (২৬নং চিত্র)। নিউক্লিয়স-প্রতি নিউক্লিওলসের সংখ্যা প্রাণী বা উদ্ভিদের স্পিসিস্ এবং ক্রোমোসোমের প্রস্থ (set)-সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। বহু প্রাণী ও উদ্ভিদ্‌কোষে, প্রতি হ্যাপ্লয়েড প্রস্থ (haploid set) ক্রোমোসোমের জন্য একটি করে নিউক্লিওলস থাকে। অবশ্য কোন-কোন জীব কোষে এই সংখ্যা প্রতি হ্যাপ্লয়েড প্রস্থ ক্রোমোসোমের জন্য দুই বা তদোধিকও হয়ে থাকে। উদাহরণস্বরূপ, মানবদেহে প্রতিটি ডিপ্লয়েড (diploid) কোষে চারটি করে নিউক্লিওলস১ থাকে; পিঁয়াজের (onion) ডিপ্লয়েড কোষেও এই সংখ্যা চার। ক্রোমোসোমের প্রস্থ-সংখ্যার সঙ্গে নিউক্লিওলসের সংখ্যা সম্পর্কযুক্ত হওয়ায়, কেবলমাত্র নিউক্লিওলসের সংখ্যা গণনা করে একটি নিউক্লিয়সে কয় প্রস্থ ক্রোমোসোম আছে তার সম্বন্ধে ধারণা লাভ করা যায়। অবশ্য কোন-কোন জীবে কোষের বয়োবৃদ্ধির সাথে নিউক্লিওলসের সংখ্যা হ্রাস পেয়ে থাকে।

বিশেষ-বিশেষ ক্রোমোসোমের কোন-কোন হেটেরোক্রোমাটিক অঞ্চল সর্ব্বদা নিউক্লিওলসের সঙ্গে যুক্ত থাকে। ক্রোমোসোমের এই অঞ্চল-গুলিকে **নিউক্লিওলস-সংগঠনকারী অঞ্চল** (nucleolar-organizing regions) বলা হয়। এটি খুবই সম্ভব বলে প্রতীয়মান হয় যে, সবক'টি ক্রোমোসোমই নিউক্লিওলস-গঠনকারী পদার্থসমূহের সৃষ্টিতে অংশগ্রহণ করে, তবে এর সংগঠনের (organization) দায়িত্ব মাত্র কয়েকটি অঞ্চলের। লক্ষ্য করা গেছে যে, যদি কোন কারণে ক্রোমোসোমের নিউক্লিওলস-সংগঠনকারী অঞ্চলটি দু'টুকরো হয়ে যায়, তাহলে প্রতিটি টুকরো একটি করে নিউক্লিওলস গঠন করতে থাকে। এটাও দেখা গেছে যে, বিভিন্ন অবস্থায় নিউক্লিওলস-সংগঠনকারী অঞ্চলগুলির মধ্যে নিউক্লিওলস সৃষ্টি করার জন্য প্রয়োজনীয় পদার্থগুলি সংগ্রহ করার নিমিত্ত প্রতি-যোগিতা চলতে থাকে এবং এ-ব্যাপারে কয়েকটি সংগঠনকারী অঞ্চল অন্যান্য অঞ্চলের তুলনায় বেশী তৎপরতা দেখিয়ে থাকে।

মাইটোসিস চক্র (একাদশ অধ্যায়) চলাকালীন নিউক্লিওলসটি অদৃশ্য হয়ে যায়, আবার কোষ-বিভাজনের শেষ দশায় প্রতিটি অপত্য-নিউক্লিয়সের

১ ইংরাজীতে একবচনে 'নিউক্লিওলস' (nucleolus) এবং বহুবচনে 'নিউ-ক্লিওলাই' (nucleoli) হয়ে থাকে।

(daughter nucleus) ভিতর এর আবির্ভাব ঘটে। প্রতিটি নিউক্লিওলসের দু'টি অংশ থাকে। যে অংশটি কোষ-বিভাজনের কালে অদৃশ্য হয়ে যায় ও পরে পুনরাবির্ভূত হয়, তা **পার্স্ অ্যামর্ফা** (pars amorpha) নামে পরিচিত। কোষ-বিভাজনের সময় নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের ভাঙনের ঠিক পূর্বমুহূর্ত থেকে এর অন্তর্হিত হওয়ার সূচনা হয় এবং যখন অপত্য-নিউক্লিয়সগুলি সংগঠিত হতে থাকে তখন তাদের ভিতর এটি পুনরাবির্ভূত হয়। দ্বিতীয় অংশটি কখনই অন্তর্হিত হয় না। এই অংশটির নাম **নিউক্লিওলোনীমা** (nucleolonema)। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে দেখা গেছে যে এই অংশের কাঠামোটি সুতোর মতো (filamentous) বস্তু দিয়ে তৈরী।

মাইটোটিক কোষ-বিভাজনে (mitotic cell-division) নিউক্লিওলসগুলি গুরুত্বপূর্ণ অংশ গ্রহণ করতে পারে। ঘাস-ফড়িঙের (grasshopper) নিউরোব্লাস্টসমূহের (neuroblasts) প্রতি নিউক্লিয়সে দু'টি করে নিউক্লিওলস থাকে। এদের মধ্যে একটি নিউক্লিওলস-এর উপর যদি একটি বিভাজনের অন্তিম-দশা (late stage) এবং পরবর্তী বিভাজনের সূচনার মধ্যবর্তীকালে অল্পক্ষণের জন্য আলট্র্যা ভাইওলেট আলোকসম্পাত ঘটানো হয়, তাহলে মাইটোসিস প্রায় স্থায়ীভাবে বন্ধ হয়ে যায়। এথেকে প্রতীয়মান হয় যে, মাইটোসিস চলার জন্য দু'টি নিউক্লিওলস-ই অক্ষত থাকা চাই।

নিউক্লিওলসের ভিতর প্রচুর পরিমাণে আর.এন.এ (RNA) এবং প্রোটীন থাকে। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ (radioactive isotope) সহযোগে পরীক্ষা চালিয়ে নিউক্লিওলসের ভিতর ডি.এন.এ-র (DNA) উপস্থিতিও ধরা পড়েছে। এই ডি.এন.এ ক্রোমোসোমস্থিত ডি.এন.এ থেকে আলাদা। নিউক্লিওলসের শুষ্ক-ওজনের (dry weight) শতকরা ৮—১৭ ভাগ হচ্ছে আর.এন.এ এবং শতকরা সর্বোচ্চ ৯০ ভাগ 'অ্যাসিডিক প্রোটীন' (acidic protein)। [নিউক্লিয়সের 'কেমিস্ট্রি' সম্পর্কে আলোচনাকালে এর সম্বন্ধে বিশদ বিবরণ দেওয়া হবে]।

কোষের 'প্রোটীন সিন্থেসিসের' কাজের সঙ্গে নিউক্লিওলসের সম্পর্ক আছে। এই সম্পর্কের কথা সর্বপ্রথম উল্লেখ করেন **ক্যাসপার্সন** (Caspersson)। এই প্রোটীন সিন্থেসিসের প্রথম ধাপ হচ্ছে, ক্রোমোসোমের ডি.এন.এ-র (DNA) নিয়ন্ত্রণে নিউক্লিয়সের ভিতর আর.এন.এ-র (RNA) সৃষ্টি। ঐ আর.এন.এ অতঃপর নিউক্লিওলসে গিয়ে জমা হয়। কিছুটা পরিমাণ আর.এন.এ নিউক্লিওলস থেকে নিউক্লিয়ার মেম-

ব্রেন ভেদ করে সাইটোপ্লাজ্‌মে যায়। সাইটোপ্লাজ্‌মে এসে এই আর.এন.এ ডি.এন.এ কর্তৃক নির্দেশ পাওয়া টেম্‌প্লেট (template বা ছাঁচ) অনুযায়ী রাইবোসোম-এর মধ্যে অ্যামিনো অ্যাসিড (amino acid) উপাদানগুলিকে এনে জড়ো করার মাধ্যমে প্রোটীন সিন্থেসিসের কাজে সহায়তা করে।

নিম্নোদ্ধৃত পর্যবেক্ষণ দ্বারাও এটি অনুমোদিত হয় যে, প্রোটীন সিন্থেসিসে নিউক্লিওলসের ভিতরকার আর.এন.এ-র একটি ভূমিকা আছে। যেসব কোষে প্রোটীন সিন্থেসিসের মাত্রা (rate) খুব বেশী, তাদের নিউক্লিওলসগুলি আয়তনে বেশ বড় হয় এবং তাদের ভিতর প্রচুর আর.এন.এ থাকে। অপরপক্ষে, যেসব কোষে প্রোটীন সিন্থেসিস অল্প-মাত্রায় হয়ে থাকে, তাদের নিউক্লিওলসটিও ছোট এবং অপরিণত হয়।

## কেমিস্ট্রি

### (Chemistry বা রসায়ন)

স্পেক্‌ট্রোফটোমেট্রিক (spectrophotometric) পদ্ধতিতে নিউক্লিয়সের কেমিক্যাল অ্যানালিসিস বা রাসায়নিক বিশ্লেষণ করা সম্ভব হয়েছে। এরূপ পরীক্ষার দ্বারা বোঝা গেছে যে নিউক্লিয়সের কেমিক্যাল অর্গ্যানাইজেশান (chemical organization বা রাসায়নিক সংঘটন) খুবই জটিল। যে রাসায়নিক পদার্থটি নিউক্লিয়সের ভিতর সর্বাধিক পরিমাণে পাওয়া যায়, সেটি হচ্ছে **নিউক্লিওপ্রোটীন** (nucleoprotein)। এটি নিউক্লীক অ্যাসিড (nucleic acid) এবং বিশেষ ধরণের প্রোটীনের সমন্বয়ে গঠিত। এছাড়া অন্যান্য আরও কিছু পদার্থ নিউক্লিয়সের ভিতর পাওয়া যায়। সংক্ষেপে নিউক্লিয়সের রাসায়নিক উপাদানগুলি হচ্ছে,

১। বেসিক প্রেটৌনসমূহ (basic proteins), যথা হিস্টোন (histone) এবং প্রোটামাইন (protamine),

২। অ্যাসিডিক প্রোটীনসমূহ, (acidic proteins), যথা, ক্রোমোসোমের অবশিষ্ট প্রোটীনসমূহ (residual proteins),

৩। নিউক্লীক অ্যাসিডসমূহ, যথা, ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড এবং রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড,

৪। লিপিডসমূহ (lipids),

৫। এনজাইমসমূহ (enzymes),

৬। অজৈব পদার্থসমূহ (inorganic compounds)।

**১। বেসিক প্রোটীনসমূহ ঃ**

নিউক্লিয়সে বেসিক প্রোটীনসমূহের পরিমাণ অ্যাসিডিক প্রোটীনগুলির তুলনায় বেশী। বেসিক প্রোটীন রূপে **হিস্টোন** (histone) অথবা **প্রোটোমাইন** (protamine)-এর একটিকে নিউক্লিয়সের ভিতর পাওয়া যায়। হিস্টোন-এর মধ্যে অধিক পরিমাণে 'আর্গাইনিন' (arginine) ও 'লাইসিন' (lysine) অ্যামিনো অ্যাসিড এবং প্রোটামাইন-এর ভিতর অধিক পরিমাণে 'আর্গাইনিন' অ্যামিনো অ্যাসিড পাওয়া যায়। অধিকাংশ কোষের নিউক্লিয়সেই হিস্টোন থাকে; পক্ষান্তরে, প্রোটামাইন-এর অস্তিত্ব কেবলমাত্র কয়েকটি প্রাণির শুক্রকীটের (sperms) নিউক্লিয়সের মধ্যেই সীমাবদ্ধ।

**২। অ্যাসিডিক প্রোটীনসমূহ ঃ**

এই প্রোটীনগুলির মধ্যে বেশী পরমাণে 'ট্রিপ্টোফ্যান' (tryptophan) এবং 'টাইরোসিন' (tyrosine) অ্যামিনো অ্যাসিড থাকে। এদের 'নন্-হিস্টোন প্রোটীন'-ও (non-histone protein) বলা হয় এবং এদের সঙ্গে ডি.এন.এ-র চেয়েও বেশী পরিমাণ আর.এন.এ যুক্ত থাকে।

নিউক্লিয়সের বেসিক প্রোটীনসমূহ তার ভিতরকার ক্রোমোসোমগুলির রক্ষণ (maintenance) ও পুনরুৎপাদনের (reproduction) সঙ্গে সংসৃষ্ট (concerned) এবং অ্যাসিডিক প্রোটীনগুলি নিউক্লিয়সের বিশেষ মেটাবলিক কার্যাবলীর (special metabolic activities) সঙ্গে জড়িত বলে ধারণা করা হয়ে থাকে।

**৩। নিউক্লীক অ্যাসিডসমূহ ঃ**

নিউক্লীক অ্যাসিডসমূহ (DNA এবং RNA) নিউক্লিয়সের শুষ্ক-ওজনের (dry weight) শতকরা ১৫—৩০ ভাগ হয়ে থাকে। এর মধ্যে আর.এন.এ-র পরিমাণ খুবই কম—নিউক্লিয়সের শুষ্ক-ওজনের শতকরা মাত্র ১—২ ভাগ। এটা প্রধানত নিউক্লিওলসের ভিতর এবং খুব অল্প পরিমাণে ক্রোমোসোমদেহে পাওয়া যায়। ডি.এন.এ-র অস্তিত্ব মুখ্যত ক্রোমোসোমদেহে। নিউক্লিয়সে ডি.এন.এ-র পরিমাণ ক্রোমোসোমের সংখ্যার সঙ্গে এবং কোষ-চক্রের (cell cycle) বিশেষ স্টেজের সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে জড়িত। প্রতি প্রস্থ (set) ক্রোমোসোমের জন্য ডি.এন.এ-র পরিমাণ ধ্রুবক (constant) বলে প্রমাণিত হয়েছে। হ্যাপ্লয়েড জার্ম-কোষগুলির (germ cells) তুলনায় ডিপ্লয়েড কোষগুলিতে এর পরিমাণ ঠিক দ্বিগুণ।

উভয়প্রকার নিউক্লীক অ্যাসিডই প্রোটীনের সঙ্গে সংযুক্ত হয়ে অবস্থান করে। প্রোটীন সিন্থেসিসে তারা অত্যাবশ্যকীয় বলে মনে করা হয়।

**৪। লিপিডসমূহঃ**

প্রোটীন ও নিউক্লীক অ্যাসিড-দু'টির পরেই যে পদার্থগুলি নিউক্লিয়সের ভিতর বেশী পরিমাণে পাওয়া যায়, সেগুলি লিপিড-গোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত। নিউক্লিয়সের মাস্-এর (mass বা ভর) শতকরা ৩—১০ ভাগ এদের দিয়ে তৈরী। এরা প্রধানত **লাইপোপ্রোটীন** (lipoprotein) ও **ফস্ফোলিপিড** (phospholipid) রূপে উপস্থিত থাকে। ফস্ফোলিপিড ক্রোমোসোম এবং নিউক্লিওলস উভয়ের মধ্যেই থাকে, তবে এই দুই অংশের ফস্ফোলিপিড গুণগতভাবে (qualitatively) ভিন্ন প্রকারের।

**৫। এনজাইমসমূহঃ**

নানাপ্রকার এনজাইম নিউক্লিয়সের ভিতর পাওয়া যায়। **ডি. পি. এন. সিন্থেটেজ** (DPN synthetase) এনজাইমটি নিউক্লিয়সের ভিতর, আরও সঠিকভাবে বলতে গেলে, নিউক্লিওলসের ভিতর পাওয়া যায়। এই এনজাইমটি প্রোটীন সিন্থেসিসের জন্য প্রয়োজনীয় কোএনজাইম (coenzyme) 'ডাইফস্ফোপাইরিডিন নিউক্লীওটাইড' (diphosphopyridine nucleotide বা DPN)-এর সিন্থেসিস ঘটে থাকে। আর.এন.এ, ডি.এন.এ এবং প্রোটীন সিন্থেসিসে সংসৃষ্ট (concerned) এনজাইমগুলিকেও, যথা, **নিউক্লিওসাইড ফস্ফোরাইলেজ** (nucleoside phosphorylase) এবং **রাইবোনিউক্লিয়েজ**-কে (ribonuclease), নিউক্লিয়স তার ভিতর ধারণ করে। এদের মধ্যে 'নিউক্লিওসাইড ফস্ফোরাইলেজ'-টি খুবই গুরুত্বপূর্ণ, কেননা, নিউক্লিয়স ছাড়া কোষের অন্য কোথাও এর অস্তিত্ব ধরা পড়ে না। **অ্যাল্কালাইন ফস্ফেটেজ** (alkaline phosphatase), **নিউক্লিওটাইড ফস্ফেটেজ** (nucleotide phosphatase) প্রভৃতি এনজাইমগুলি হয় সম্পূর্ণরূপে অনুপস্থিত থাকে, অথবা খুব অল্প মাত্রায় পাওয়া যায়। **ক্যাটালেজ** (catalase), **আর্গাইনেজ** (arginase) প্রভৃতি কয়েকটি এনজাইম কতকগুলি নিউক্লিয়সে অধিক মাত্রায় পাওয়া গেলেও, অনেক নিউক্লিয়সে মোটেই পাওয়া যায় না।

**৬। অজৈব পদার্থসমূহঃ**

এই পদার্থগুলি নিউক্লিয়সের ভিতর খুব অল্প পরিমাণে পাওয়া গেলেও এদের জৈব-রাসায়নিক (biochemical) গুরুত্ব কম নয়। **ক্যালসিয়াম,**

**ম্যাগনীশিয়াম, লোহা** (iron) এবং **দস্তা**-র (zinc) রাসায়নিক লবণগুলি (salts) নিউক্লিয়সের ভিতর প্রধানত ক্রোমাটিনের সঙ্গে সংলগ্ন থাকে। নিউক্লিয়সের খনিজ উপাদানগুলির (mineral components) মধ্যে ক্যালসিয়াম-ই প্রধান এবং এটি ডি.এন.এ-র (DNA) সঙ্গে যুক্ত থাকে।

## ফিজিকো-কেমিক্যাল প্রপার্টিজ

[Physico-chemical properties
বা
ভৌত-রাসায়নিক ধর্মাবলী]

১। নিউক্লিয়ার মেমব্রেনটি **পজিটিভ চার্জ্-যুক্ত** (positive charge বা পরা আধান), কিন্তু ক্রোমোসোমগুলি **নেগেটিভ চার্জ্-যুক্ত** (negative charge বা অপরা আধান)।

২। নিউক্লিয়সের **স্পেসিফিক গ্র্যাভিটি** (specific gravity বা আপেক্ষিক গুরুত্ব) সাধারণত সাইটোপ্লাজ্‌মের চেয়ে বেশী হয়। তবে, একাইনোডার্মাটা পর্বভুক্ত কোন-কোন প্রাণির ডিমে নিউক্লিয়সটি সাইটোপ্লাজ্‌মের তুলনায় হাল্কা হয়ে থাকে। আবার, নিউক্লিয়সের উপাদানগুলির মধ্যে নিউক্লিওলসের 'স্পেসিফিক গ্র্যাভিটি'-ই সবচেয়ে বেশী।

৩। নিউক্লিয়সের pH সাইটোপ্লাজ্‌মের তুলনায় বেশী **অ্যাল্‌কালাইন** (alkaline বা ক্ষারীয়)।

৪। নিউক্লিয়সের **ভিস্‌কসিটি** (viscosity বা সান্দ্রতা) পরিবর্তনশীল।

## নিউক্লিয়স ও সাইটোপ্লাজ্‌মের সম্পর্ক

(Nucleo-cytoplasmic relations)

নিউক্লিয়স ও সাইটোপ্লাজ্‌ম পরস্পর নির্ভরশীল। নিউক্লিয়স তার ডি.এন.এ অণুগুলির (molecules) নির্দেশ অনুযায়ী সাইটোপ্লাজ্‌মের যাবতীয় কার্যকলাপকে নিয়ন্ত্রণ করে ও সাইটোপ্লাজ্‌মের পরিচর্যার জন্য প্রয়োজনীয় পরিকল্পনা রচনা করে। নিউক্লিয়সবিহীন কোষ কোন-কোন কাজ যথা, উদ্দীপনায় (stimulus) সাড়া দেওয়া, সিলিয়াযুক্ত কোষে সিলিয়া-র (cilia) সঞ্চলন, উদ্ভিদ্‌কোষে ফটোসিন্থেসিস (photosynthesis বা সালোকসংশ্লেষ) প্রভৃতি সম্পাদন করলেও তারা অতি অল্প সময় বেঁচে থাকে এবং বংশবিস্তার করতে ও দেহের বৃদ্ধি ঘটাতে মোটেই

সক্ষম হয় না। অপরদিকে, অক্সিডেটিভ এনজাইমগুলি (oxidative enzymes) প্রধানত সাইটোপ্লাজ্‌মের ভিতর থাকায় প্রয়োজনীয় শক্তির (energy) জন্য নিউক্লিয়সকে সাইটোপ্লাজ্‌মের উপর নির্ভর করতে হয়। উপরন্তু, নিউক্লীক অ্যাসিডের নতুন অণু এবং ক্রোমোসোমদেহের প্রোটীন তৈরীতে প্রয়োজনীয় পদার্থগুলির জন্যও নিউক্লিয়স সাইটোপ্লাজ্‌মের উপর নির্ভরশীল।

# ১০ ॥ ক্রোমোসোম
## (Chromosome)

কোষের অঙ্গগুলির মধ্যে কোষবিজ্ঞানীদের মনোযোগ সর্বাধিক আকৃষ্ট হয়েছে ক্রোমোসোমগুলির দ্বারা। এর কারণ হচ্ছে, তাদের ফিজিকো-কেমিক্যাল গঠন (physico-chemical composition) এমনই যে জীবের হেরিডিটি (heredity) নিয়ন্ত্রণে তারা একটি মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে থাকে। এই হেরিডিটির বা বংশগতির রহস্য সম্যকভাবে উপলব্ধি করার জন্য ক্রোমোসোমগুলিকে নিয়ে কোষবিজ্ঞানীদের পরীক্ষা-নিরীক্ষার অন্ত নেই।

ক্রোমোসোমগুলি কোষের একটি স্থায়ী অঙ্গ হলেও কোষ-চক্রের (cell cycle) বিভিন্ন দশায় এদের গঠন ও আকৃতির নানারূপ পরিবর্তন ঘটে থাকে। মেটাফেজ (metaphase) এবং অ্যানাফেজ (anaphase) দশায় [এই দশাগুলি সম্পর্কে একাদশ অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে] এদের প্রত্যেকের পৃথক্ সত্তা-র (entity) প্রকাশ ঘটে, অপরপক্ষে ইন্টারফেজ (interphase) দশায়, যখন এরা নিজেদের মুখ্য কাজগুলি সাধনে ব্যাপৃত থাকে, সে-সময়ে এদের পৃথক্‌ভাবে সনাক্ত করা আদৌ সম্ভব হয় না।

এই অধ্যায়ে একটি আদর্শ ক্রোমোসোম-এর অর্গ্যানাইজেশান (organization বা সংঘটন) সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। যেহেতু মাইটোটিক চক্রের (একাদশ অধ্যায় দ্রষ্টব্য) মেটাফেজ দশায় ক্রোমোসোমগুলি সহজে দৃষ্টিগোচর হয়, সেইকারণে আদর্শ ক্রোমোসোমের গঠন মেটাফেজ ক্রোমোসোমের গঠনের উপর ভিত্তি করে নির্ধারিত হয়েছে।

### সংখ্যা (Number)

সাধারণত কোন জীবের দেহের প্রতিটি সোমাটিক কোষে[১] (somatic cell) এবং কোন স্পিসিসের অন্তর্ভুক্ত প্রতিটি জীবে, ক্রোমোসোমের সংখ্যা ধ্রুবক (constant) হয়ে থাকে। অবশ্য উপরিউক্ত বিবৃতির কিছু-কিছু ব্যতিক্রমও পরিলক্ষিত হয়, অর্থাৎ, এমন জীবও দেখা যায় যাদের দেহের সমুদয় সোমাটিক কোষে ক্রোমোসোম-সংখ্যা একই রকমের

১ কোন জীবের জার্ম-কোষ (germ cells) ব্যতীত দেহের অন্যান্য কোষগুলিকে 'সোমাটিক কোষ' বলা হয়।

হয় না, এবং অন্যদিকে, একই স্পিসিসের অন্তর্ভুক্ত কোন-কোন জীবের ক্রোমোসোম-সংখ্যা ঐ স্পিসিসের অন্তর্ভুক্ত অধিকাংশ জীব থেকে পৃথক্ হয়ে থাকে। উদাহরণস্বরূপ, স্তন্যপায়ী প্রাণিদের লিভারের কোষে, ঘাস-ফড়িঙের (grasshopper) স্পার্মাটোগোনিয়াম-এ (spermatogonium) এবং আরও কতকগুলি প্রাণির দেহস্থ বিভিন্ন কোষে, ক্রোমোসোমের সংখ্যা সাধারণ ডিপ্লয়েড সংখ্যার (diploid number) কোন এক গুণক (multiple) হয়ে থাকে (২৯নং চিত্র)।





(ক) (খ)

২৯ নং চিত্র :—(ক) 'আইসোপ্সেরা স্টাইলাটা (*Isopera stylata*) নামে ঘাস-ফড়িঙের একটি ডিপ্লয়েড স্পার্মাটোগোনিয়াম [ লেখকের নিজস্ব প্লেট ]; (খ) ঐ ঘাস-ফড়িঙের একটি পলিপ্লয়েড স্পার্মাটো-গোনিয়াম [ লেখকের নিজস্ব প্লেট ]।

কোন সোমাটিক কোষের ক্রোমোসোমগুলির মধ্যে আয়তনের তারতম্য থাকলে তাদের কয়েকটি 'জোড়ায়' (pair) ভাগ করা সম্ভব হয়। প্রতি 'জোড়ার' ক্রোমোসোমদুটির মধ্যে আয়তন, সেণ্ট্রোমীয়ার-এর (centromere) অবস্থান, হেটেরোক্রোমাটিক অঞ্চল, সেকেণ্ডারী কন্স্ট্রিক্শান (secondary constriction) ইত্যাদির দিক থেকে পরস্পরের প্রতি মিল লক্ষিত হয়। যেসব জীবের এবং যেসব স্পিসিসের সোমাটিক কোষের ক্রোমোসোমগুলিকে এরূপ যুগলবদ্ধ (paired) করা যায়, তাদের যথাক্রমে **ডিপ্লয়েড জীব** (diploid organism) ও **ডিপ্লয়েড স্পিসিস** (diploid

species) বলা হয়ে থাকে। প্রাণিকুলের অধিকাংশ স্পিসিস এবং উচ্চতর উদ্ভিদ্-গোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত স্পিসিসগুলির শতকরা প্রায় ৫০ ভাগ হচ্ছে 'ডিপ্লয়েড'। এইসব জীবের সোমাটিক কোষের ক্রোমোসোম সংখ্যাকে ডিপ্লয়েড সংখ্যা (diploid number) বলা হয়। সাধারণত ডিপ্লয়েড জীবের গ্যামিট-এ (gamete) সোমাটিক কোষের প্রতি জোড়া ক্রোমোসোম থেকে একটি করে ক্রোমোসোম উপস্থিত থাকে, অর্থাৎ, এক্ষেত্রে ক্রোমোসোমের সংখ্যা সোমাটিক কোষের ঐ সংখ্যার তুলনায় অর্ধেক হয়ে যায়। ডিপ্লয়েড সংখ্যার এরূপ অর্ধভাগকে **হ্যাপ্লয়েড সংখ্যা** (haploid number) বলা হয় প্রাণিদের অল্প কয়েকটি স্পিসিসে এবং উচ্চতর উদ্ভিদ্-গোষ্ঠীর বেশ কয়েকটি স্পিসিসে সোমাটিক কোষের ক্রোমোসোমগুলিকে জোড়ায়-জোড়ায় দলবদ্ধ করার পরিবর্তে, তিনে-তিনে, চারে-চারে অথবা তদোধিক সংখ্যায় দলবদ্ধভাবে বিন্যস্ত করা যায়। এইসব জীবের যাদের মধ্যে প্রতি প্রকার ক্রোমোসোম তিনটে করে থাকে তাদের **ট্রিপ্লয়েড** (triploid), যাদের ভিতর প্রতি প্রকার ক্রোমোসোম চারটি করে থাকে তাদের **টেট্রাপ্লয়েড** (tetraploid) এবং একইভাবে পাঁচটি করে থাকলে **পেণ্টাপ্লয়েড** (pentaploid), ছয়টি থাকলে **হেক্সাপ্লয়েড** (hexaploid), সাতটি থাকলে **হেপ্টাপ্লয়েড** (hepta-ploid), আটটি থাকলে **অক্টোপ্লয়েড** (octoploid) জীব বলা হয়ে থাকে। ডিপ্লয়েড সংখ্যার চেয়ে অধিক-সংখ্যক ক্রোমোসোমবিশিষ্ট এইসব জীবকে এক কথায় **পলিপ্লয়েড জীব** (polyploid organisms) বলা হয়। প্রাণি-জগতে পলিপ্লয়েড স্পিসিসের (প্রজাতির) সংখ্যা খুব সীমিত।

ডিপ্লয়েড সেটের (diploid set) প্রতি জোড়া ক্রোমোসোমকে **হমলগাস ক্রোমোসোম** (homologous chromosome বা **সমসংস্থ** ক্রোমোসোম) আখ্যা দেওয়া হয়, যেহেতু তারা একইধরণের জীন-এর (gene) লোকাস-কে (locus) একই ক্রমে (order) ধারণ করে থাকে। ট্রিপ্লয়েড, টেট্রাপ্লয়েড, পেণ্টাপ্লয়েড প্রভৃতি জীবে প্রতি প্রকার ক্রোমোসোমের যথাক্রমে তিনটি, চারটি ও পাঁচটি **হমলগ** (homologue বা সমসংস্থক) থাকে।

এক স্পিসিস থেকে অপর স্পিসিসে ক্রোমোসোমের সংখ্যার বিপুল পার্থক্য পরিলক্ষিত হতে পারে। সর্বনিম্ন সংখ্যক ক্রোমোসোমবিশিষ্ট প্রাণী হচ্ছে 'অ্যাস্কারিস মেগালোকেফালা ইউনিভ্যালেন্স'[১] (*Ascaris megalocephala univalens*)। এদের হ্যাপ্লয়েড সংখ্যা হচ্ছে ১ (এক)[২]

১ ঘোড়ার গোলকৃমি (nematode)—বর্তমানে এদের 'প্যারঅ্যাস্কারিস ইকোয়ারাম' (*Parascaris equorum*) বলা হয়।

২ প্রকৃতপক্ষে, এই সংখ্যা এই প্রাণিগুলির জার্ম-রেখাস্থ (germ-line) কোষ-

[ ডিপ্লয়েড সংখ্যা = ২ ]। 'অ্যাস্কারিস মেগালোকেফালা বাইভ্যালেন্স'-এর (*Ascaris megalocephala bivalens*) হ্যাপ্লয়েড সংখ্যা ২ (ডিপ্লয়েড সংখ্যা = ৪)। 'হ্যাপ্লোপেপ্পাস গ্রাসিলিস'. (*Haplopappus gracilis*) নামে গেঁদা-গোত্রীয় (compositae) উদ্ভিদেও হ্যাপ্লয়েড সংখ্যা ২ (দুই)। কোন-কোন স্পিসিসে ডিপ্লয়েড কোষের ক্রোমোসোম-সংখ্যা শতাধিকও হতে পারে, যেমন, স্পেনদেশীয় প্রজাপতি, 'লাইস্যান্ড্রা নিভেসেন্স'-এর (*Lysandra nivescens*) হ্যাপ্লয়েড সংখ্যা ১৯০ অথবা ১৯১ (ডিপ্লয়েড সংখ্যা = ৩৮০ বা ৩৮২)।

অধিকাংশ ডিপ্লয়েড স্পিসিসের প্রাণী এবং উদ্ভিদে হ্যাপ্লয়েড সংখ্যা ৬ থেকে ২৫-এর ভিতর থাকে। (অ্যান্‌জিওস্‌পার্ম (angiosperms) বা গুপ্তবীজী উদ্ভিদের বেশীর ভাগ স্পিসিসে এই সংখ্যা ৮ থেকে ১৬-র মধ্যে এবং ছত্রাক-এর (fungi) বিভিন্ন স্পিসিসে ৩ থেকে ৮-এর মধ্যে হয়ে থাকে। 'প্রাইমেট'-গোষ্ঠীভুক্ত বিভিন্ন প্রাণিতে (primates) এই সংখ্যা সাধারণত ১৬ থেকে ৩০-এর ভিতর থাকে, এবং মানুষের ক্ষেত্রে এই সংখ্যা হচ্ছে ২৩ (তেইশ)।

(কোন একটি জীবের যে নিম্নতম সংখ্যক ক্রোমোসোমের ভিতর ঐ জীবের সমুদয় জীন-এর (gene) একটি করে প্রস্থ (set) অবস্থান করে, তা ঐ জীবের হ্যাপ্লয়েড সংখ্যা। এই কারণে কোন জীবের হ্যাপ্লয়েড-সংখ্যক ক্রোমোসোমকে একটি বিশেষ আখ্যা দেওয়া হয়, সেটি হচ্ছে **জীনোম** (genome)।)

বিভিন্ন স্পিসিসের কতিপয় উদ্ভিদ্‌ ও প্রাণির এবং তাদের প্রত্যেকের ক্রোমোসোম-সংখ্যার একটি তালিকা নীচে দেওয়া হ'ল। তা থেকে বিভিন্ন স্পিসিসের ভিতর ক্রোমোসোম-সংখ্যার পার্থক্য সহজে বোঝা যাবে।

**কতিপয় উদ্ভিদ্‌ ও প্রাণির ডিপ্লয়েড সংখ্যা**

| উদ্ভিদ্‌ | ডিপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যা |
|---|---|
| 'ট্রাইটিকাম ঈস্‌টিভাম' (গম) (*Triticum aestivum*) | ৪২ |

গুলির যথা, নিষিক্ত ডিম, স্পার্মাটোগোনিয়া, উগোনিয়া ইত্যাদির ক্রোমোসোমকে নির্দেশ করে। এদের সোমাটিক কোষের ক্রোমোসোম-সংখ্যা ৪২টি—নিষিক্ত ডিমের ক্রোমোসোম দু'টি টুক্‌রো-টুক্‌রো হয়ে উক্ত-সংখ্যক ক্রোমোসোম সৃষ্টি করে।

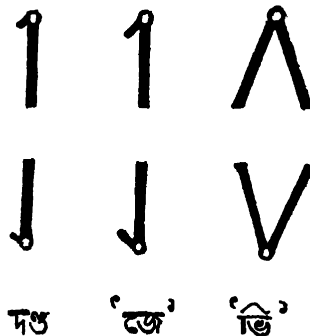
| উদ্ভিদ্ | ডিপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যা |
| --- | --- |
| 'ট্রাইটিকাম ডুরাম' (গম)<br>(*Triticum durum*) | ২৮ |
| 'জীয়া মেজ' (ভুট্টা)<br>(*Zea maize*) | ২০ |
| 'পাইসাম স্যাটিভাম' (মটর)<br>(*Pisum sativum*) | ১৪ |
| 'র‍্যাফানাস স্যাটিভাস' (মূলা)<br>(*Raphanus sativus*) | ১৮ |
| 'অ্যালিয়াম সেপা' (পিঁয়াজ)<br>(*Allium cepa*) | ১৬ |
| 'ক্যামেলিয়া সাইনেনসিস' (চা)<br>(*Camellia sinensis*) | ৩০ |
| 'সাইট্রুলাস ভালগেরিস' (তরমুজ)<br>(*Citrulius vulgaris*) | ২২ |
| 'ক্যারিকা প্যাপাইয়া' (পেঁপে)<br>(*Carica papaya*) | ১৮ |
| 'ম্যাগনোলিয়া গ্র্যান্ডিফ্লোরা'<br>(*Magnolia grandiflora*) | ১১৪ |

| প্রাণী | ডিপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যা |
| --- | --- |
| 'বোম্বিক্স্ মোরি' (রেশম মথ)<br>(*Bombyx mori*) | ৫৬ |
| 'সেরাক্রিস নাইগ্রিকর্নিস' (ক্ষুদ্র শুঙ্গযুক্ত ঘাসফড়িং)<br>(*Ceracris nigricornis*) | ২৩ (পুং)<br>২৪ (স্ত্রী) |
| 'ল্যাড্নিয়া পাঙ্টিপেস' (দীর্ঘ শুঙ্গযুক্ত ঘাসফড়িং)<br>(*Ladnea punctipes*) | ২৯ (পুং)<br>৩০ (স্ত্রী) |
| 'বুফো হিমালয়ানাস' (ব্যাঙ)<br>(*Bufo himalayanus*) | ২২ |
| 'ড্রসোফিলা মেলানোগ্যাস্টার' (ফলের মাছি)<br>(*Drosophila melanogaster*) | ৮ |

| প্রাণী | ডিপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যা |
|---|---|
| 'ক্যানিস ফ্যামিলিয়ারিস' (কুকুর) (*Canis familiaris*) | ৭৮ |
| 'মাস্কা ডোমেস্টিকা' (মাছি) (*Musca domestica*) | ১২ |
| 'সিয়ারা অসেলেরিস' (একপ্রকার ডাঁশ) (*Sciara ocellaris*) | ৮ |
| 'হোমো সেপিয়েন্স' (মানুষ) (*Homo sapiens*) | ৪৬ |

## আকৃতি (shape)

ক্রোমোসোমের আকৃতির উল্লেখকালে আমরা সাধারণত মেটাফেজ (metaphase) ও অ্যানাফেজ (anaphase) দশায় তাদের আকৃতির কথাই বলে থাকি। অ্যানাফেজ দশায় ক্রোমোসোমগুলি যখন দুই মেরুর দিকে চলতে থাকে তখন তাদের আকৃতি প্রধানত রড (rod বা দণ্ড) এবং ইংরাজী বর্ণমালার 'জে' (J) অথবা 'ভি' (V) অক্ষরের মত হয় (৩০ নং চিত্র)। এই আকৃতি মূলত তাদের সেন্ট্রোমীয়ার-এর (centro-



দণ্ড 'জে' 'ভি'

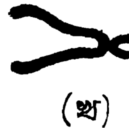
৩০ নং চিত্র :—অ্যানাফেজ দশার ক্রোমোসোমের বিভিন্ন রূপ।

mere) অবস্থানের দ্বারা নির্ধারিত হয়। বর্তমানে সোমাটিক কোষসমূহের বিভাজনের মেটাফেজ দশায় সেন্ট্রোমীয়ারগুলির গঠন (structure) সম্পর্কে ধারণা লাভ করা সম্ভব হয়েছে। তাদের অবস্থিতি 'কল্‌চিসিন' (colchicine) ব্যবহার দ্বারা পরিষ্কার ভাবে বোঝা যায়। এই দশায়

ক্রোমোসোমদেহে একটি কন্‌স্ট্রিকশান (constriction) বা সংকোচ দৃষ্টিগোচর হয়। এই সংকীর্ণ অংশটিই (constricted region) হচ্ছে **সেন্ট্রোমীয়ার** (centromere)। ক্রোমোসোমদেহের যেকোন জায়গাতেই সেন্ট্রোমীয়ারটি অবস্থিত থাকতে পারে। যদি ক্রোমোসোমদেহের ঠিক মাঝখানে অথবা মাঝখানের খুব কাছাকাছি এর অবস্থান হয়, তাহলে ক্রোমোসোমটিকে **মেটাসেন্ট্রিক** (metacentric) ক্রোমোসোম বলা হয়। পক্ষান্তরে, যদি ক্রোমোসোমের কোন এক প্রান্তের কাছে এর অবস্থান হয়, তাহলে ক্রোমোসোমটিকে **অ্যাক্রোসেন্ট্রিক** (acrocentric) ক্রোমোসোম বলা হয়ে থকে (৩১ ও ৩২ নং চিত্র)। মেটাসেন্ট্রিক ক্রোমোসোমে



(ক)



(খ)

৩১ নং চিত্র :—(ক) মেটাসেণ্ট্রিক ক্রোমোসোম; (খ) অ্যাক্রোসেণ্ট্রিক ক্রোমোসোম।

সেন্ট্রোমীয়ারটি ক্রোমোসোমটিকে প্রায় সমান দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দুটি খণ্ডে বিভক্ত করে। অপরপক্ষে, অ্যাক্রোসেণ্ট্রিক ক্রোমোসোমে সেণ্ট্রোমীয়ারের একধারে ক্রোমোসোমের অংশটি হয় খুব ছোট এবং অপরদিকের অংশটি হয় সেই তুলনায় অনেক বড় (৩১ নং চিত্র)। উপরিউক্ত দু'প্রকার ক্রোমোসোমের মধ্যবর্তী অবস্থাও অনেক ক্ষেত্রে চোখে পড়ে এবং সেগুলিকে সাবমেটাসেন্ট্রিক (submetacentric) ক্রোমোসোম আখ্যা দেওয়া হয়। কোন-কোন স্পিসিসে সমস্ত ক্রোমোসোমগুলি একইপ্রকারের হয়ে থাকে—হয় মেটাসেন্ট্রিক অথবা অ্যাক্রোসেন্ট্রিক। তবে, বহু প্রাণিতেই দু'ধরণের ক্রোমোসোম-ই দেখা যায়। অ্যানাফেজ দশায় অ্যাক্রোসেন্ট্রিক ক্রোমোসোমগুলি রড-এর আকার, সাবমেটাসেন্ট্রিক ক্রোমোসোমগুলি 'জে'-এর (J) আকার এবং মেটাসেন্ট্রিকগুলি 'ভি'-র (V) আকার ধারণ করে।



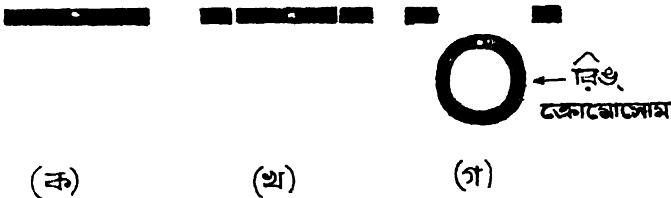
৩২ নং চিত্র :—একটি মের্দণ্ডী প্রাণির কতিপয় ক্রোমোসোম। তীর-চিহ্নিত ক্রোমোসোমগুলি 'মেটাসেণ্ট্রিক'। ছবির একেবারে উপরের দিকের ক্রোমোসোমটি 'সাব-মেটাসেণ্ট্রিক' [ ডঃ কমলেশ চট্টোপাধ্যায়ের সৌজন্যে প্রাপ্ত ]

টিলোসেণ্ট্রিক (telocentric) ক্রোমোসোম নামে আর এক প্রকারের ক্রোমোসোমের উল্লেখ প্রায়ই দেখা যায়। সেণ্ট্রোমীয়ারটি যদি ক্রোমোসোমের ঠিক একটি প্রান্তে অবস্থিত হয়(if the centromere is terminal) তাহলে ক্রোমোসোমটিকে টিলোসেণ্ট্রিক ক্রোমোসোম বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে, জীবজগতে টিলোসেণ্ট্রিক ক্রোমোসোমের অস্তিত্ব খুবই বিরল; এধরণের ক্রোমোসোম সচরাচর দেখা যায় না। স্বাভাবিক ক্রোমোসোমের সেণ্ট্রোমীয়ারটি কোন কারণে আড়াআড়িভাবে (transversely) খণ্ডিত হ'লে দু'টি টিলোসেণ্ট্রিক ক্রোমোসোমের সৃষ্টি হয়ে থাকে। কিন্তু, এই ধরণের ক্রোমোসোমগুলি খুবই অস্থায়ী (unstable) প্রকৃতির—সৃষ্টির অল্প পরেই তারা পরিত্যক্ত হয়। এদের স্থায়ী না হওয়ার কারণ হচ্ছে, এদের সেণ্ট্রোমীয়ারটিই অস্থায়ী প্রকৃতির। কেননা, কোন ক্রোমোসোমের সেণ্ট্রোমীয়ারটি স্থায়ী হওয়ার জন্য তার দু'ধারেই ক্রোমাটিন থাকা চাই।

**ক্লীভল্যান্ড** (Cleveland) অবশ্য দেখিয়েছেন যে, 'হলোম্যাস্টিগোট'১ (holomastigote) গোষ্ঠীর প্রোটোজোয়ার কয়েকটি স্পিসিসে স্বাভাবিক ক্রোমোসোমগুলি টিলোসেণ্ট্রিক হয়ে থাকে। তবে এই উদাহরণটিকে একটি ব্যতিক্রম হিসাবেই ধরা উচিত। কেননা, এক্ষেত্রে সেণ্ট্রোমীয়ারগুলি সর্বদাই সেণ্ট্রিওল-এর (centriole) সংস্পর্শে থাকে; অন্যান্য জীবে এই অবস্থা দেখা যায় না। সেণ্ট্রিওল-এর সঙ্গে এই নিয়ত সংস্পর্শ সেণ্ট্রোমীয়ারগুলিকে স্থায়িত্ব প্রদান করে।

যেহেতু সেণ্ট্রোমীয়ারের অবস্থান পূর্ণ টিলোসেণ্ট্রিক থেকে মেটাসেণ্ট্রিক অবস্থার যে-কোন স্থানে হতে পারে সেই কারণে সময় সময় আমরা অনিশ্চিত অবস্থার মধ্যে পড়ি; বিশেষ করে তাদের অবস্থান যখন কোন মধ্যবর্তী স্থানে হয়। এইজন্য আধুনিক কালে সেণ্ট্রোমীয়ারের ইন্‌ডেক্স্ (centromeric index) বার করে ক্রোমোসোমের রকম নির্ণয় করা হয়।

কোন-কোন জীবে [যেমন, 'ড্রসোফিলা' (*Drosophila*) নামে পতঙ্গে, মানব দেহে এবং ভুট্টা গাছে] অস্বাভাবিক ধরণের একপ্রকার ক্রোমোসোম কখনও-কখনও চোখে পড়ে—অঙ্গুরী-র মত আকৃতির জন্য এদের **রিঙ ক্রোমোসোম** (ring chromosome) বলা হয় (৩৩নং চিত্র)। একটি




৩৩ নং চিত্র :—রিঙ ক্রোমোসোম সৃষ্টির বিভিন্ন ধাপ।

ক্রোমোসোমের প্রান্ত দু'টি কোন কারণে পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে গেলে 'রিঙ ক্রোমোসোমের' উদ্ভব হয়। এখানে উল্লেখ করা যেতে পারে যে, ক্রোমোসোমের স্বাভাবিক অবস্থায় তাদের প্রান্তগুলি কখনই পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয় না। কোন কারণে প্রান্তদ্বয় খণ্ডিত হ'লে, ভগ্ন প্রান্ত দু'টি আঠালো (sticky) হয়ে ওঠে বলে ধারণা করা হয়। এই অবস্থায় তারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে যেতে পারে (৩৩নং চিত্র)। মনে রাখতে হবে যে, 'রিঙ ক্রোমোসোম' একটি অস্বাভাবিক ধরণের ক্রোমোসোম এবং একবার

১ এরা 'সিলিয়েটা' (ciliata) শ্রেণীর অন্তর্গত—উই পোকার অন্ত্রে এদের বাস।

সৃষ্টি হলেই তা যে জীবদেহে চিরকাল অবস্থান করবে এমন নয়। নানা কারণে তাদের বিনাশ ঘটে।

যদিও অধিকাংশ জীবকোষের ক্রোমোসোমে সেণ্ট্রোমীয়ারের অবস্থিতি দৃষ্টিগোচর হয়, 'হেমিপ্টেরা' (Hemiptera) জাতীয় পতঙ্গে এবং কিছু-কিছু উদ্ভিদে তাদের অবস্থিতি চোখে পড়ে না। এইরূপ ক্রোমোসোমে সেণ্ট্রোমীয়ার ডিফিউজ্ড্ (diffused) বা পরিব্যাপ্ত অবস্থায় থাকে।

## আয়তন (Size)

মেটাফেজ দশায় ক্রোমোসোমগুলির আয়তন কোন একটি স্পিসিসের (প্রজাতির) বিভিন্ন প্রাণী বা উদ্ভিদে আপেক্ষিকভাবে ধ্রুবক (relatively constant) থাকে। অবশ্য একই জীবের বিভিন্ন টিস্যুর কোষে তাদের আয়তনের তারতম্য থাকাটা একেবারেই অস্বাভাবিক নয় [ যেমন, ডিপ্টেরা-র (diptera) লালা-গ্রন্থির কোষে ক্রোমোসোমগুলির আয়তন দেহের অন্যান্য কোষের তুলনায় বহুগুণ বেশী হয়ে থাকে ]। কোন ক্রোমোসোমের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস পরস্পরের প্রতি উল্টাভাবে পরিবর্তিত হয় (vary inversely), অর্থাৎ, ক্রোমোসোমটি যত সঙ্কুচিত হয় সেটি ততই পুরু হয়।

কোন ক্রোমোসোমের দৈর্ঘ্য তার জীন-সংখ্যার 'ফাংশান' (function বা অপেক্ষক) বলে ধারণা করা হয়ে থাকে। এই ধারণা সম্পূর্ণ যুক্তি-শূন্য নয়। 'ড্রসোফিলা মেলানোগ্যাস্টার' (*Drosophila melanogaster)* নামে পতঙ্গ থেকে পাওয়া জেনেটিক সাক্ষ্য-প্রমাণাদি (genetic evidences) হতে জানা যায় যে, তিনটি প্রধান ক্রোমোসোমে (২নং, ৩নং এবং এক্স্-ক্রোমোসোমে) জীনের সংখ্যা তাদের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে মোটামুটি সমানুপাতিক (roughly proportional)। অপরপক্ষে, 'ওয়াই' ক্রোমোসোমটি (Y-chromosome) সোমাটিক কোষে এক্স্-ক্রোমোসোমের চেয়ে বড় হলেও কার্যত জীন-শূন্য। এটাও জানা গেছে যে, এই বিশেষ পতঙ্গটিতে ওয়াই-ক্রোমোসোমটি প্রধাণত হেটেরোক্রোমাটিন দিয়ে তৈরী, যাতে সাধারণত জীন থাকে না। সুতরাং, কোন ক্রোমোসোমের আয়তন থেকে তাতে অবস্থিত জীন-এর সংখ্যার আন্দাজ সর্বদা পাওয়া সম্ভব নয়।

বিভিন্ন জীবে ক্রোমোসোমগুলির দৈর্ঘ্য মেটাফেজ দশায় সাধারণত ০·১—৩০ মাইক্রা পর্যন্ত হয়ে থাকে এবং ঐ দশায় তাদের ব্যাস ০·২—২·০ মাইক্রা পর্যন্ত হয়। ছত্রাক-জাতীয় উদ্ভিদ্সমূহে 'মাইটোটিক' ক্রোমোসোমগুলি সাধারণত অতি ক্ষুদ্র হয়ে থাকে। তাদের কোষের ভিতর সমগ্র নিউক্লিয়সটিই অতি কষ্টে চোখে পড়ে। কিন্তু, ঈস্ট-বর্গের (ascomycetes)

কোন-কোন ছত্রাকে, যেমন 'নিউরোস্পোরা'-য় (*Neurospora*), 'মায়োটিক' ক্রোমোসোমগুলি বেশ বড় হয়। পাখীদের কোষেও অতি ক্ষুদ্র আকারের ক্রোমোসোম দেখা যায়, যদিও তাদের কতকগুলি ক্রোমোসোম বেশ বড় হয়ে থাকে। সাধারণত উদ্ভিদের ক্রোমোসোমগুলিকে প্রাণিদের ক্রোমোসোমের তুলনায় বেশ বড় হতে দেখা যায়। আবার, উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের মধ্যে একবীজপত্রী (monocotyledonous) উদ্ভিদ্‌গুলির ক্রোমোসোম দ্বিবীজ-পত্রী (dicotyledonous) উদ্ভিদ্‌গুলির তুলনায় বড় হয়। প্রাণিজগতে অর্থোপ্‌টেরা (orthoptera) এবং আম্ফিবিয়া (amphibia) বর্গভুক্ত প্রাণিগুলির ক্রোমোসোম বেশ বড়।

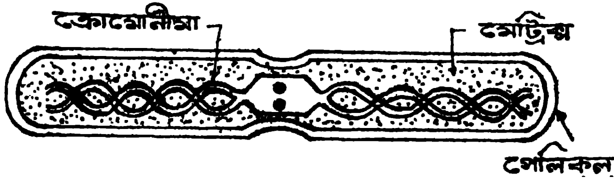
তত্ত্বগতভাবে, ক্রোমোসোমের আয়তনের ন্যূনতম সীমা (minimum limit) বলে কিছু নেই। পুনরুৎপাদন (duplication) এবং অ্যানাফেজ চলনের (anaphase movement) জন্য প্রয়োজনীয় অংশগুলি তাদের ভিতর থাকলে, তাদের ন্যূনতম দৈর্ঘ্য যেকোন প্রকারের হওয়াই সম্ভব। অপরপক্ষে, ক্রোমোসোমের দৈর্ঘ্যের একটি নির্দিষ্ট ঊর্ধ্ব-সীমা আছে। এই সীমা মেটাফেজ দশায় স্পিণ্ড্‌ল-এর (spindle বা বেম যন্ত্র) মেরু (pole) থেকে তার নিরক্ষরেখা (equator) পর্যন্ত [একাদশ অধ্যায় দ্রষ্টব্য] দূরত্বের দ্বারা নির্ধারিত হয়। ক্রোমোসোমগুলি উক্ত দূরত্বের চেয়ে লম্বা হ'লে কোষটি বিভক্ত হওয়ার সময় যে 'সেল প্লেট' (cell plate) বা কনস্ট্রিক্‌শান (constriction) অর্থাৎ সঙ্কোচ-এর সৃষ্টি হয় তার দ্বারা তাদের প্রান্তভাগ খণ্ডিত হয়ে যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে। সেই-কারণে, ক্রোমোসোমগুলির দৈর্ঘ্য উপরিউক্ত দূরত্বের চেয়ে কখনও বেশী হয় না।

## মর্ফোলজি

### (Morphology বা অঙ্গসংস্থান)

মাইটোসিসের প্রোফেজ (prophase) ও মেটাফেজ (metaphase) দশায় ক্রোমোসোমগুলিকে দেখলে খুব সহজেই বোঝা যায় যে, প্রতিটি ক্রোমোসোম দু'টি লম্বালম্বি অংশে বিভক্ত রয়েছে—ঐ অংশদু'টির প্রত্যেকটি <u>**ক্রোমাটিড**</u> (chromatid) নামে পরিচিত। বিভিন্ন ধরণের শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে বোঝা গেছে যে, ক্রোমাটিডগুলি লম্বালম্বিভাবে আরও সরু-সরু খণ্ডে বিভক্ত থাকে। তাদের প্রত্যেকটিকে বলা হয়, <u>**ক্রোমোনীমা**</u>[১] (chromonema) [৩৪নং চিত্র]। প্রতিটি

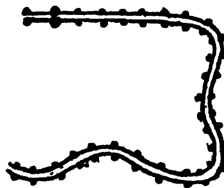
১ ইংরাজীতে একবচনে 'ক্রোমোনীমা' এবং বহুবচনে 'ক্রোমোনীমাটা' (chromonemata) হয়ে থাকে।




৩৪ নং চিত্র :—মাইটোটিক অ্যানাফেজ দশার একটি ক্রোমোসোমের (অর্থাৎ, প্রকৃতপক্ষে একটি ক্রোমাটিডের) নক্সাকার চিত্র।

ক্রোমাটিড ঠিক কতগুলি ক্রোমোনীমায় বিভক্ত থাকে সে ব্যাপারে কোষ-বিজ্ঞানীদের মধ্যে মতবিরোধ আছে। তথাপি, কতকগুলি সাক্ষ্য-প্রমাণের দ্বারা স্থির হয়েছে যে, সাধারণক্ষেত্রে প্রতিটি ক্রোমাটিড চারটি করে ক্রোমোনীমায় বিভক্ত থাকে। এখানে স্মরণ করা যেতে পারে যে, কোষ-বিভাজনের শুরুতে ক্রোমাটিন-সূত্রের ঘনীভবনের (condensation) ফলে যে ক্রোমোসোমের সৃষ্টি হয়, সেগুলি খুব সরু ও লম্বা হয়ে থাকে। এই-সময়ে তাদের ক্রোমোনীমাগুলি সাধারণত জট-খোলা (unraveled) অবস্থায় থাকে। ধীরে-ধীরে ক্রোমোসোমগুলি আরও ঘনীভূত হয়ে রড-এর (rod) আকৃতি গ্রহণ করে। তাদের ক্রোমোনীমাগুলির স্প্রিং-এর মত কয়েল্‌ড্‌ বা কুণ্ডলীকৃত হওয়া (spirally coiled) এবং নিজেদের চারিদিকে একটি আবরণী (pellicle or shell) রচনা করার ফলেই ক্রোমোসোমগুলির আকার রডের মত হয়।

মায়োসিস-এর (meiosis) প্রথম প্রোফেজ দশার [ এর সম্পর্কে দ্বাদশ অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে ] সূচনায় ক্রোমোসোমদেহে গাঢ় স্টেন্‌যুক্ত (deeply stained) ছোট-ছোট কতকগুলি অংশ দেখা যায়, তাদের ক্রোমোমীয়ার (chromomere) বলা হয় (৩৫নং চিত্র)। অনেকের মতে

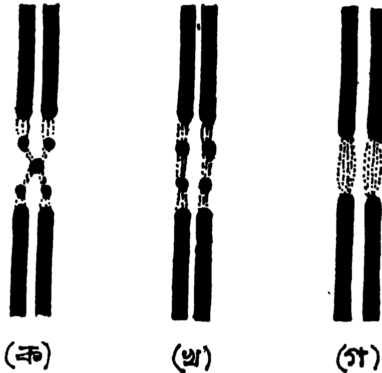


৩৫ নং চিত্র ঃ—'ট্রিলিয়াম'-এর একটি ক্রোমোসোমে ক্রোমোমীয়ার দেখানো হয়েছে।

ক্রোমোমীয়ারগুলি ক্রোমোসোমের নির্দিষ্ট কোন অঙ্গ নয়—ক্রোমোসোমগুলি কয়েল্‌ড্ বা কুণ্ডলীকৃত হওয়ার ফলে ক্রোমোসোমদেহে তাদের আবির্ভাব ঘটে। এই মতের স্বপক্ষে কয়েকটি যুক্তি আছে। প্রথমত, মাইক্রোনীডল্-এর সাহায্যে ক্রোমোসোমগুলিকে টেনে লম্বা করলে ক্রোমোমীয়ারগুলি অদৃশ্য হয়ে যায়। দ্বিতীয়ত, লেপ্টোটীন (leptotene) দশার ক্রোমোমীয়ারগুলি প্রোফেজ দশার অগ্রগতির সাথে-সাথে আয়তনে বড় হতে থাকে, কিন্তু সংখ্যায় হ্রাস পেতে থাকে। অবশেষে প্রোফেজ দশার শেষ-লগ্নে ক্রোমোসোমদেহে তারা স্পষ্ট কয়েল্ (coils বা কুণ্ডলী) রূপে প্রতিভাত হয়।

পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, মাইটোটিক চক্রের মেটাফেজ দশায় ক্রোমাসোমদেহে একটি কন্‌স্ট্রিক্‌শান (constriction) বা সংকোচ দৃষ্টিগোচর হয়। এই সংকীর্ণ অংশটি হচ্ছে **সেন্ট্রোমীয়ার** (centromere)। এই অংশ দ্বারাই কোষ-বিভাজনের সময় ক্রোমোসোমটি স্পিণ্ডল্ ফাইবার-এর (spindle fibre বা বেম-তন্তু) সঙ্গে যুক্ত হয়।)

অধিকাংশ সেন্ট্রোমীয়ার-এ এক বা একাধিক বিভিন্ন আয়তনের ক্রোমোমীয়ার থাকে। ক্রোমোমীয়ারগুলি পরস্পরের সঙ্গে এবং ক্রোমোসোমদেহের সঙ্গে কতকগুলি সূক্ষ্ম ফাইবার দ্বারা যুক্ত থাকে, তাদের **ইন্টার্-ক্রোমোমেরাল ফাইব্রিলী** (interchromomeral fibrillae) বলা হয় (৩৬নং চিত্র)। এই ফাইব্রিলগুলি প্রকৃতপক্ষে ক্রোমোসোমস্থ ক্রোমোনীমা।

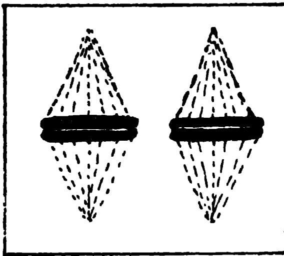



৩৬ নং চিত্র :—সেন্ট্রোমীয়ারের গঠন-বৈচিত্র্য।

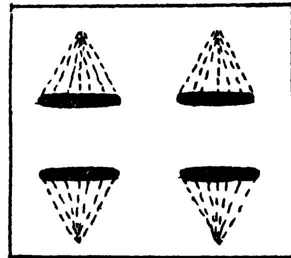
সেন্ট্রোমীয়ার অংশে ক্রোমোনীমাগুলিতে ক্রোমোসোমদেহের অন্যান্য অংশের তুলনায় কয়েল্-এর (coil) পরিমাণ কম থাকে, অথবা কয়েল্

সম্পূর্ণরূপে অনুপস্থিত থাকে। এখানে উল্লেখ করা যেতে পারে যে, সব সেন্ট্রোমীয়ারে ক্রোমোমীয়ার নাও থাকতে পারে। ফলে, ঐসব ক্ষেত্রে সেন্ট্রোমীয়ারগুলি কেবলমাত্র ইন্টারক্রোমোমেরাল ফাইব্রিলী দ্বারা গঠিত হয়ে থাকে।

কোন-কোন ক্ষেত্রে ক্রেমোসোমদেহে নির্দিষ্ট স্থানে অবস্থিত একটিমাত্র সেণ্ট্রোমীয়ারের পরিবর্তে একাধিক সেণ্ট্রোমীয়ার দেখা যায়। এইধরণের ক্রোমোসোমকে **পলিসেন্ট্রিক** (polycentric) ক্রোমোসোম বলা হয়। কখনও কখনও সেন্ট্রোমীয়ারগুলি ক্রোমোসোমের সারা দেহ জুড়ে ছড়িয়ে থাকে—এরূপ সেন্ট্রোমীয়ারকে **ডিফিউজ্ড্** (diffused) সেন্ট্রোমীয়ার বা **পরিব্যাপ্ত** সেন্ট্রোমীয়ার বলে। হোমোপ্‌টেরা (homoptera) ও হেটেরোপটেরা (heteroptera) বর্গভুক্ত অধিকাংশ পতঙ্গে ডিফিউজ্‌ড্ সেন্ট্রোমীয়ার দেখা যায়। ডিফিউজ্‌ড্-সেন্ট্রোমীয়ারযুক্ত ক্রোমোসোমগুলি কোষ-বিভাজনের অ্যানাফেজ দশায় মেরুর দিকে চলার সময় স্পিণ্ড্‌লের নিরক্ষরেখার (equator) সঙ্গে সমান্তরালভাবে থাকে (৩৭ নং চিত্র)।



প্রথম মেটাফেজ্



প্রথম অ্যানাফেজ্

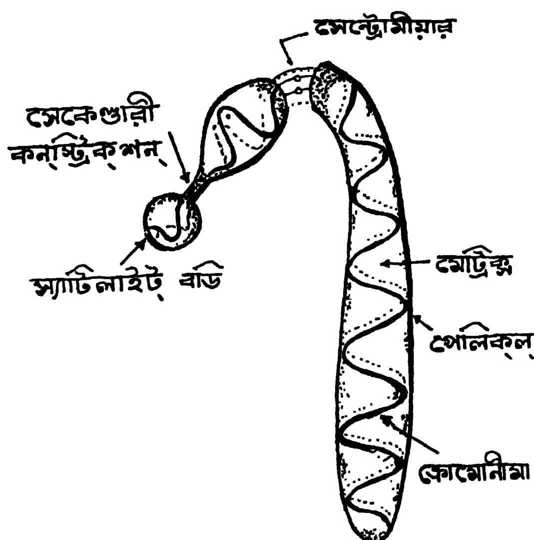
৩৭ নং চিত্রঃ—হোমোপ্‌টেরা বর্গভুক্ত একটি পতঙ্গের মায়োসিসের দু'টি দশা [নক্সাকার চিত্র]।

প্রাণিদের মধ্যে 'পারঅ্যাস্কারিস ইকোয়ারাম ইউনিভ্যালেন্স্'-এ (*Parascaris equorum univalens*) পলিসেণ্ট্রিক ক্রোমোসোম দেখা যায়। কোষ বিভাজনের সময় তাদের আচরণ ডিফিউজ্‌ড্ সেন্ট্রোমীয়ারযুক্ত ক্রোমোসোমগুলির আচরণের মতই হয়ে থাকে। উক্ত দু'প্রকার ক্রোমোসোমের মধ্যে একটি উল্লেখযোগ্য পার্থক্য হচ্ছে, পলিসেন্ট্রিক ক্রোমোসোমগুলি ছোট-ছোট খণ্ডে বিভক্ত হতে পারে; শুধু তাই নয়, নিয়মিতরূপে বা নির্দিষ্ট সূচী অনুযায়ী তারা বিভক্ত হয়ে থাকে। এইরূপে

বিভক্ত হওয়ার ফলে যে ছোট-ছোট ক্রোমোসোমগুলির সৃষ্টি হয়, সেগুলির প্রত্যেকটি স্থায়ী (stable) প্রকৃতির এবং কর্মক্ষম হয়। উপরোদ্ধৃত অ্যাস্কারিস-এর শুক্রকীটে ও ডিমে (sperms and eggs) একটি করে পলিসেন্ট্রিক ক্রোমোসোম থাকে। অতএব, নিষিক্ত ডিমে (fertilized egg) ঐ সংখ্যা দাঁড়ায় ২ (দুই)। কিন্তু, এদের অধিকাংশ 'সোমাটিক কোষে' ক্রোমোসোমের সংখ্যা ৪২টি হয়ে থাকে। নিষিক্ত ডিমটির ক্রমাগত মাইটোটিক বিভাজনের ফলে ভ্রূণের (embryo) সৃষ্টি হয়। ভ্রূণের জীবন্দশার গোড়ার দিকে, যে কোষগুলি পরবর্তীকালে গোনাড-এর (gonad) সৃষ্টি করবে না, তাদের মধ্যে ক্রোমোসোম দুটি অনেকগুলি ছোট-ছোট খণ্ডে বিভক্ত হয়ে যায়। ঐ কোষগুলির বারংবার মাইটোটিক বিভাজনের ফলে বহু—ক্রোমোসোমবিশিষ্ট সোমাটিক কোষগুলির সৃষ্টি হয়।

সেন্ট্রোমীয়ার ছাড়া ক্রোমোসোমদেহে কোন-কোন ক্ষেত্রে আর একটি কন্‌স্ট্রিক্‌শান (বা সংকোচ) পরিলক্ষিত হয়। এটিকে **সেকেণ্ডারী কন্‌স্ট্রিক্‌শান** (secondary constriction বা গৌণ সংকোচ) বলা হয় (৩৮নং চিত্র)। ইন্টারফেজ দশায় সেকেণ্ডারী কন্‌স্ট্রিক্‌শানটিকে প্রায়ই নিউক্লিওলসের সঙ্গে সংযুক্ত থাকতে দেখা যায় এবং কোষ-বিভাজনের শেষে নিউক্লিওলসের পুনর্গঠনে তারা অংশগ্রহণ করে বলে অনুমিত হয়। এইকারণে সেকেণ্ডারী কন্‌স্ট্রিক্‌শানকে **নিউক্লিওলস গঠনকারী অঞ্চলও** (nucleolar organizing region) বলা যেতে পারে। সেকেণ্ডারী কন্‌স্ট্রিক্‌শানটি ক্রোমোসোমের একটি প্রান্তে অবস্থিত হ'লে, তার পরেও ক্রোমোসোমের যে ছোট অংশটি থাকে তাকে **স্যাটেলাইট বডি** (satellite body) বলা হয় (৩৮নং চিত্র)। সাধারণত, প্রতি হ্যাপ্লয়েড প্রস্থ (haploid set) ক্রোমোসোমের অন্তত একটিতে 'সেকেণ্ডারী কন্‌স্ট্রিক্‌শান' ও 'স্যাটিলাইট বডি' থাকে।

ক্রোমোসোমের প্রান্তদুটি **টিলোমীয়ার** (telomere) নামে পরিচিত। **মুলার** (Muller) সর্বপ্রথম টিলোমীয়ার নামে তাদের (প্রান্তদুটিকে) অভিহিত করেন। এই নামকরণের দ্বারা ক্রোমোসোমের অন্যান্য অংশের তুলনায় তার প্রান্তদুটি যে অসাধারণ (unique) প্রকৃতির, সেইকথা তিনি বোঝাতে চেয়েছিলেন। প্রান্তদ্বয়ের এই অসাধারণত্ব তাদের বিশিষ্ট আচরণের (behaviour) দ্বারা প্রতিফলিত হয়। গঠনের (structure) দিক থেকে প্রান্তগুলির সঙ্গে অন্যান্য অংশের কোন প্রভেদ নেই, কিন্তু আচরণের দিক থেকে যথেষ্ট পার্থক্য আছে। কোন ক্রোমোসোমের প্রান্তটি অখণ্ড

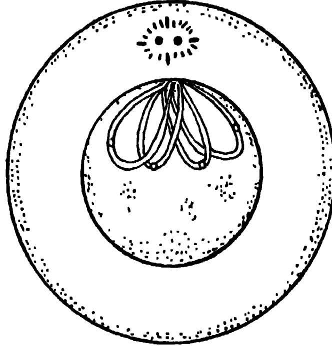



৩৮ নং চিত্র ঃ—মাইটোসিসের অ্যানাফেজ দশার একটি আদর্শ ক্রোমোসোম।

থাকলে তা অন্য ক্রোমোসোমের সঙ্গে স্থায়ীভাবে সংযুক্ত হতে পারে না। কিন্তু টিলোমীয়ারটি কোন কারণে ক্রোমোসোমদেহ থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে গেলে, ক্রোমোসোমের খণ্ডিত প্রান্তটি অসংপৃক্ত (unsaturated) অবস্থা প্রাপ্ত হয়, এবং এই অবস্থায় তা অন্য ক্রোমোসোমের তুল্যরূপ খণ্ডিত অংশের সঙ্গে সংযুক্ত হয়ে যায়। আবার, খণ্ডিত প্রান্তটি কোন ক্রোমোসোমের অখণ্ড প্রান্তের সঙ্গেও যুক্ত হতে পারে না। টিলোমীয়ারের সঙ্গে ক্রোমোসোমের অন্যান্য অংশের মুখ্য পার্থক্য এইগুলিই। মায়োটিক প্রোফেজ দশায় টিলোমীয়ারগুলি কখনও কখনও সেণ্ট্রিওল (centriole) কর্তৃক আকৃষ্ট হয় এবং সেন্ট্রিওল-এর দিকের নিউক্লীয়ার মেমব্রেন অভিমুখে ধাবিত হয়। টিলোমীয়ারের এইরূপ আচরণের ফলে যে অবস্থার সৃষ্টি হয়, তাকে "বুকে দশা" (bouquet arrangement বা ফুলের তোড়ার মত) বলে বর্ণনা করা হয় (৩৯নং চিত্র)।

অনেক কোষবিজ্ঞানীর মতে ক্রোমোনীমাগুলি একটি পদার্থের ভিতর নিহিত থাকে—ঐ পদার্থটিকে **মেট্রিক্স্** (matrix) আখ্যা দেওয়া হয়। মেট্রিক্সটি আবার একটি আবরণী দ্বারা ঘেরা থাকে, যার নাম **পেলিক্‌ল্** (pellicle) [৩৪নং ও ৩৮নং চিত্র]। মেট্রিক্স্-এর অস্তিত্ব সম্পর্কে

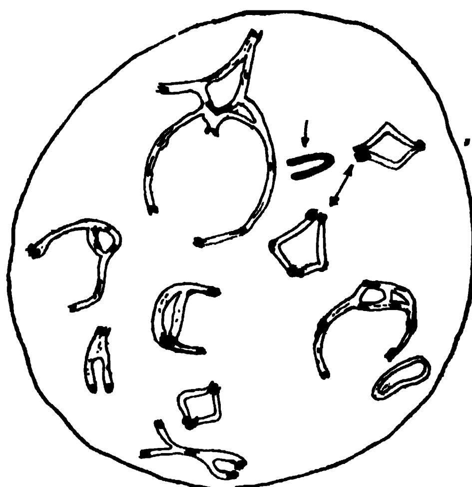
কোষবিজ্ঞানীদের মধ্যে মতবিরোধ থাকলেও, কোষবিভাজনের কোন-কোন দশায় এবং কোষবিজ্ঞান সম্পর্কে গবেষণা চালানোর কতকগুলি অনুকূল



৩৯ নং চিত্রঃ—বুকে দশা।

উপাদানে, যথা, ভুট্টা (maize), ট্রিলিয়াম (*Trillium*), ট্র্যাডিস্‌ক্যান্সিয়া (*Tradescantia*) প্রভৃতি উদ্ভিদে এবং পোডিস্‌মা (*Podisma*) নামে ঘাসফড়িঙে (grasshopper), আলোকচিত্র মাধ্যমে এদের অস্তিত্ব সম্পর্কে যুক্তিযুক্ত প্রমাণ লাভ করা গেছে।

অধিকাংশ প্রাণী এবং উদ্ভিদে মাইটোসিস এবং মায়োসিস-এর বিভিন্ন দশায় লক্ষ্য করা যায় যে, কোন-কোন ক্রোমোসোম অথবা ক্রোমোসোমের কোন-কোন অংশ অন্যান্য অংশের তুলনায় গাঢ়ভাবে অথবা ফিকেভাবে স্টেন বা রঞ্জিত হয়েছে (৪০নং চিত্র)। এইরূপ বৈষম্যমূলকভাবে (differentially) স্টেন্‌ হওয়ার আচরণকে **হেটেরোপিক্‌নোসিস** (heteropycnosis) বলা হয়। গাঢ়ভাবে রঞ্জিত হ'লে 'পজিটিভ হেটেরোপিক্‌নোসিস' (positive heteropycnosis) এবং ফিকেভাবে হ'লে 'নেগেটিভ হেটেরোপিক্‌নোসিস' (nagative heteropycnosis) বলা হয়ে থাকে। একই ক্রোমোসোম অথবা ক্রোমোসোমের একই অংশ, একটি দশায় পজিটিভ হেটেরোপিক্‌নোসিস এবং অন্য দশায় নেগেটিভ হেটেরোপিক্‌নোসিস প্রদর্শন করতে পারে। যে ক্রোমোসোম বা ক্রোমোসোমের যে অংশ কোন এক দশায় হেটেরোপিক্‌নোসিস প্রদর্শন করে, তাকে **হেটেরোক্রোমাটিন** (heterocromatin) বলা হয়। পক্ষান্তরে, ক্রোমোসোমের যে অংশগুলি কোনপ্রকার হেটেরোপিক্‌নোসিস প্রদর্শন করে না তাদের বলা হয় **ইউ-ক্রোমাটিন** (euchromatin)।



৪০ নং চিত্র ঃ—একটি ঘাস ফড়িঙের ডিপ্লোটিন দশা; তীর-চিহ্নিত অংশগুলি হেটেরোক্রোমাটিন।

### কেমিক্যাল স্ট্রাক্চার
### (Chemical structure বা রাসায়নিক গঠন)

ক্রোমোসোমের মুখ্য রাসায়নিক উপাদান হচ্ছে, **নিউক্লীক অ্যাসিড** (nucleic acid) ও **প্রোটীন।** [এদের গঠন সম্পর্কে ত্রয়োদশ অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে]। দু'প্রকার নিউক্লীক অ্যাসিড-ই যথা, **ডি.এন.এ.** এবং **আর.এন.এ.**, ক্রোমোসোমের ভিতর পাওয়া যায়। তবে ডি.এন.এ.-র পরিমাণ আর.এন.এ.-র তুলনায় অনেক বেশী। ক্রোমোসোমের বিভিন্ন উপাদানের মধ্যে শতকরা ৪৫ ভাগ হচ্ছে ডি.এন.এ. এবং আর.এন.এ.-র পরিমাণ শতকরা ১·২—১·৪ ভাগ। প্রোটীনের পরিমাণ শতকরা ৫৫ ভাগ। এই প্রোটীনের মধ্যে **হিস্টোন** (histone) অথবা **প্রোটা-মাইন**-এর (protamine) যেকোন একটিকে ক্রোমোসোমের মধ্যে পাওয়া যায়। অধিকাংশ ক্রোমোসোমেই হিস্টোন থাকে; কেবলমাত্র কয়েকপ্রকার মাছ ও পাখীর শুক্রকীটের ক্রোমোসোমে হিস্টোনের পরিবর্তে প্রোটামাইন-এর অস্তিত্ব ধরা পড়েছে। উপরিউক্ত প্রোটীনদু'টি বেসিক (basic বা ক্ষারকীয়) প্রোটীন। **রেসিডিউয়্যাল প্রোটীন** (residual protein) বা অবশিষ্ট প্রোটীন রূপে পরিচিত একটি অ্যাসিডিক (acidic বা আম্লিক)

প্রোটীনও ক্রোমোসোমের মধ্যে পাওয়া যায়। পৃথগীকৃত (isolated) ক্রোমোসোমের উপর এনজাইমের ক্রিয়ার মাধ্যমে এদের উপস্থিতির কথা জানা গেছে। নিয়ন্ত্রিত অবস্থায় (under controlled conditions) নিউক্লিয়সের ভিতর 'ট্রিপসিন' (trypsin) নামক এনজাইমটিকে প্রবেশ করালে ক্রোমোসোমগুলি ভিস্‌কাস (viscous) হয়ে যায় এবং আংশিক-ভাবে ভেঙ্গে যায়। তুল্যরূপে, নিউক্লিয়সের ভিতর 'পেপসিন' (pepsin) নামক এনজাইমটিকে প্রবেশ করালে, ক্রোমোসোমের ঐরূপ কোন পরিবর্তন ঘটে না। উপরিউক্ত পরীক্ষা থেকে এটি প্রমাণিত হয় যে, ক্রোমোসোমের কাঠামোটি (framework) 'ট্রিপসিন' দ্বারা পরিপাক হয়ে যায় অথচ 'পেপ-সিন' দ্বারা পরিপাক হয় না এমন একটি রেসিডিউয়্যাল প্রোটীন দ্বারা গঠিত। ক্রোমোসোমের আর একটি গুরুত্বপূর্ণ উপাদান হচ্ছে, **ক্যাল্‌সিয়াম** (calcium)। এটি ক্রোমোসোমের কাঠামোটিকে দৃঢ়তা প্রদান করে। স্টিফেনসেন-এর (Steffensen) পরীক্ষার দ্বারা এই বক্তব্যটি সমর্থিত হয়েছে। স্টিফেনসেন প্রমাণ করেন যে, কোন জীবের খাদ্যবস্তুতে ক্যাল্‌সিয়াম-এর অভাব ঘটলে তাদের মধ্যে স্বাভাবিকভাবে ক্রোমোসোম-ভঙ্গের (spontaneous chromosome-breakage) ঘটনা বৃদ্ধি পায়।

# ১১ ॥ মাইটোসিস
## (Mitosis)

'বিভিন্ন জীবদেহ কোষ দিয়ে তৈরী', এ কথাটা জানার পর থেকেই, কি উপায়ে নতুন কোষের সৃষ্টি হয় তা' জানার জন্য প্রচুর গবেষণা আরম্ভ হয়েছিল। তথাপি ঊনবিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগের পূর্ববর্তীকাল পর্যন্ত, 'একটি কোষ থেকে বিভাজনের (division) দ্বারা যে নতুন কোষের উৎপত্তি হয়', এ ধারণা কোষবিজ্ঞানীদের অনুমোদন লাভ করে নি। **নেগেলী** (Nageli) ১৮৪৬ সালে উদ্ভিদ্‌দেহে উপরিউক্ত পন্থায় কোষ সৃষ্টির ইঙ্গিত দেন। জার্মানদেশীয় বিজ্ঞানী **রুডল্‌ফ্‌ ভিরচৌ** (Rudolf Virchow) ১৮৫৫ সালে নতুন কোষ সৃষ্টির উক্ত পন্থাকে সমর্থন করেন এবং 'অ্যামাইটোসিস' (amitosis) প্রক্রিয়ায় কোষ-বিভাজনের বর্ণনা দেন। [ এই প্রক্রিয়া সম্পর্কে বর্তমান অধ্যায়ের শেষভাগে আলোচনা করা হয়েছে ]।

প্রধানত **মাইটোসিস** প্রক্রিয়াতেই নতুন কোষ উৎপাদিত হয়ে থাকে। যদিও 'মাইটোসিস' কথাটির অর্থ নিউক্লিয়সের বিভাজন, তথাপি এই শব্দটির দ্বারা একপ্রকারের কোষ-বিভাজনকেই বোঝানো হয়ে থাকে। এই 'মাইটোসিস' প্রক্রিয়ায় **একটি কোষ থেকে প্রায় সমান আকারবিশিষ্ট দু'টি অপত্য কোষের** (daughter cells) **সৃষ্টি হয় এবং প্রতিটি অপত্য কোষে ক্রোমোসোমের সংখ্যা জন্মদাতা কোষের ক্রোমোসোম-সংখ্যার সমান হয়ে থাকে।** এ ছাড়াও প্রতিটি অপত্য কোষের ক্রোমোসোমগুলি আকৃতি, প্রকৃতি ও গুণানুবলীতে তার জন্মদাতা কোষের অনুরূপ হয়ে থাকে। **ফ্লেমিং** (Flemming) ও **স্ট্র্যাস্‌বার্জার** (Strasburger) ১৮৮২ সালে যথাক্রমে প্রাণি ও উদ্ভিদ্‌কোষে মাইটোসিসের বর্ণনা দেন। মাইটোসিস সাধারণত 'সোমাটিক' টিস্যুর (somatic tissues) সঙ্গে সংযুক্ত। অর্থাৎ, এই টিস্যুর কোষগুলির বিভাজন মাইটোসিস প্রক্রিয়ায় হয়ে থাকে। অপরপক্ষে, 'জার্মিনাল' টিস্যুতে (germinal tissue) ভিন্ন এক প্রকারের কোষ-বিভাজন দেখা যায়, যার নাম 'মায়োসিস' (meiosis)। [ এ সম্পর্কে দ্বাদশ অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে ]।

মাইটোসিস প্রক্রিয়ায় কোষ-বিভাজনের প্রথম অবস্থায় নিউক্লিয়সের বিভাজন হয়—নিউক্লিয়সের এই বিভাজনকে বলা হয় **মাইটোসিস বা ক্যারিওকাইনেসিস** (karyokinesis)। ক্যারিওকাইনেসিস-এর পর সাইটোপ্লাজ্‌মের বিভাজন

ঘটে; সাইটোপ্লাজ্‌মের এই বিভাজনকে বলা হয় **সাইটোকাইনেসিস** (cytokinesis)

মাইটোসিস-চক্র (mitotic cycle) চলাকালীন যে ব্যাপারটি সহজেই অনুসন্ধানকারী বিজ্ঞানীর দৃষ্টি আকর্ষণ করে তা হচ্ছে, ক্রোমোসোমগুলির আচরণ। এই উক্তি থেকে এরূপ ধারণা করা ঠিক হবে না যে, কোষ-বিভাজনে সাইটোপ্লাজ্‌মের কোন ভূমিকা নেই। সাইটোপ্লাজ্‌মও কোষ-বিভাজনে একটি বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে, তবে ক্রোমোসোমের ভূমিকাটি এক্ষেত্রে অধিকতর প্রকট।

এ-পর্যন্ত কয়েক হাজার বিভিন্ন স্পিসিসের প্রাণি ও উদ্ভিদ্-কোষে মাইটোসিস প্রক্রিয়া নিরীক্ষণ করা হয়েছে এবং তা থেকে জানা গেছে যে, এককোষী শৈবাল (algae) ও প্রোটোজোয়া (protozoa) থেকে আরম্ভ করে সপুষ্পক উদ্ভিদ্ ও মেরুদণ্ডী প্রাণী পর্যন্ত বিভিন্ন স্পিসিসের মধ্যে কোষ-বিভাজনের প্রধান দশাগুলির (stages) ভিতর উল্লেখযোগ্য মিল বর্তমান।

## নিউক্লিয়সের ঘটনাসমূহ

## (Nuclear events)

মাইটোটিক-চক্রকে কয়েকটি নির্দিষ্ট দশায় (stages) বিভক্ত করার একটি প্রচলিত রীতি আছে। এই দশাগুলি হচ্ছে, **প্রোফেজ** (prophase), **মেটাফেজ** (metaphase), **অ্যানাফেজ** (anaphase) এবং **টিলোফেজ** (telophase)। প্রতিটি দশায় নিউক্লিয়সের ভিতর নির্দিষ্ট কতকগুলি ঘটনা ঘটে থাকে। কোন-কোন ক্ষেত্রে প্রোফেজ ও মেটাফেজের মধ্যভাগে আর একটি দশা, **প্রোমেটাফেজ** বা **প্রিমেটাফেজ**-কে (prometaphase বা premetaphase) অন্তর্নিবিষ্ট করা হয়।

এ কথাটা মনে রাখতে হবে যে, পুরা মাইটোটিক-চক্রটি একটি অবিচ্ছিন্ন চক্র এবং উপরিউক্ত দশাগুলি মনুষ্য-সৃষ্ট। বর্ণনার সুবিধার জন্য নিউক্লিয়সের ঘটনাবলীকে উপরিউক্ত দশাগুলিতে ভাগ করা হয়ে থাকে। বিভিন্ন ধরণের কোষে সম্পূর্ণ চক্রটির ও তার বিভিন্ন দশাগুলির স্থিতি-কাল (duration) ভিন্ন-ভিন্ন রূপ হয়ে থাকে, এবং উত্তাপ ও অন্যান্য পারিপার্শ্বিক অবস্থার প্রভাবে ঐ স্থিতিকালের পরিবর্তন ঘটে। কতিপয় পতঙ্গের ডিম কয়েক মিনিট থেকে অর্ধ-ঘণ্টা সময়ের মধ্যে মাইটোটিক-চক্র সমাপ্ত করে। আবার, ঘাস-ফড়িঙের (grasshopper) নিউরোব্লাস্ট কোষ-সমূহে (neuroblast cells) ২৬° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উত্তাপে এই চক্রের

স্থিতিকাল ৮ ঘণ্টা এবং ৩৮° ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উত্তাপে মাত্র ৩ই ঘণ্টা হয়ে থাকে। অস্বাভাবিক পরিস্থিতিতে মাইটোসিস কোন এক দশায় পেঁছানোর পর থেমে যেতে পারে এবং তার পরবর্তী দশায় প্রবেশ করা নিউক্লিয়সের পক্ষে আদো সম্ভব নাও হতে পারে। সাধারণত প্রোফেজ দশাই মাইটো-সিসের সর্বাপেক্ষা দীর্ঘকালস্থায়ী দশা; মেটাফেজ এবং অ্যানাফেজ-এর স্থিতিকাল খুব সংক্ষিপ্ত হয়; আবার, টিলোফেজ় বেশ দীর্ঘস্থায়ী হয় তবে, প্রোফেজের মত অত দীর্ঘস্থায়ী নয়।

**বিভিন্ন ধরণের কোষে মাইটোটিক দশাগুলির স্থিতিকাল**

| টিস্যু (tissue) | প্রোফেজ | মেটাফেজ | অ্যানাফেজ় | টিলোফেজ় |
|---|---|---|---|---|
| ১। ঘাস-ফড়িঙের নিউরোব্লাস্ট কোষ | ১০২ মিনিট | ১৩ মিনিট | ৯ মিনিট | ৫৭ মিনিট |
| ২। মুরগীর মেসেনকাইম (mesenchyme) কোষ | ৩০-৫০ ,, | ২-১০ ,, | ২-৩ ,, | ৩২-১৩৩ ,, |
| ৩। মটরের এন্ডোস্পার্মস্থ কোষ (endosperm cells) | ৪০ ,, | ২০ ,, | ১২ ,, | ১১০ ,, |
| ৪। পিঁয়াজের মূলের কোষ | ৭১ ,, | ৬·৫ ,, | ২·৪ ,, | ৩·৮ ,, |

ইন্টারফেজ (interphase) দশা, অর্থাৎ, যে দশায় নিউক্লিয়সের ভিতর কোন ফিজিক্যাল (physical বা ভৌত) ঘটনা ঘটে না, সেই দশাটিকে যদিও মাইটোসিসের একটি দশা রূপে ধরা হয় নি, তথাপি মনে রাখতে হবে যে, কোষকে বিভাজনের উপযুক্ত করার নিমিত্ত এই সময়টি খুবই গুরুত্বপূর্ণ। উদাহরণস্বরূপ, মানবদেহের ফাইব্রোসাইট১ (fibrocyte) কোষের কথা উল্লেখ করা যেতে পারে। এক ইন্টারফেজ দশার শুরু থেকে পরবর্তী ইন্টারফেজ দশায় পৌঁছাতে এই কোষগুলির প্রায় ১৮ ঘণ্টা সময় লাগে।২ কিন্তু, প্রোফেজ দশার শুরু থেকে টিলোফেজ দশার শেষ অবস্থায় পৌঁছাতে এদের সময় লাগে মাত্র ৪৫ মিনিট। অর্থাৎ, কোষগুলি নিজেদের বিভাজনের উপযুক্ত করে গঠন করবার জন্য প্রায় ১৭ ঘণ্টা সময় নেয়।

ইন্টারফেজ দশার এই স্থিতিকাল বিভিন্ন স্পিসিসে বিভিন্ন প্রকারের হলেও, প্রোফেজ দশা সূচিত হওয়ার পূর্বে বেশ কিছুটা সময় এই দশার জন্য ব্যয়িত হয়। কোষ-বিভাজনের সঙ্গে নিবিড়ভাবে জড়িত থাকার দরুণ প্রারম্ভেই এই দশা সম্পর্কে আলোচনা করা হ'ল।

**ইন্টারফেজ** (*Interphase*)ঃ

এই দশায় নিউক্লিয়সের ভিতর ক্রোমোসোমগুলি খুব অল্প পরিমাণে কয়েল্ড্ (coiled বা কুণ্ডলীকৃত) থাকে এবং তারা খুব সরু সুতোর মত পরস্পর এমনভাবে জড়িয়ে থাকে যে তাদের পৃথক্-পৃথক্ ভাবে সনাক্ত করা যায় না। যে সামান্য পরিমাণ কয়েল্ বা পেঁচালভাব ক্রোমোসোমগুলিতে দেখা যায় সেগুলি পূর্ববর্তী মাইটোটিক-চক্রে সৃষ্ট কয়েলের অবশিষ্টাংশ। সেইকারণে ঐ কয়েল্গুলিকে **রেলিক কয়েল্** (relic coils বা স্মারক কুণ্ডলী) বলা হয়, কেননা তারা পূর্ববর্তী মাইটোটিক-চক্রের কথা স্মরণ করিয়ে দেয়। এই দশায় নিউক্লিওলস তার আয়তনের সর্বোচ্চ সীমায় পেঁছায় এবং এই সময় কোষের আয়তনেরও বৃদ্ধি ঘটতে পারে।

মাইটোসিসের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত প্রথম যে গুরুত্বপূর্ণ ঘটনাটি নিউক্লিয়সের ভিতর ঘটে তা হচ্ছে, ডি.এন.এ.-র পরিমাণের দ্বিগুণ বৃদ্ধি এবং তার

১ মেরুদণ্ডী প্রাণিদের কানেক্টিভ টিস্যুতে (connective tissue বা সংযোজক কলা) অনির্দিষ্ট আকৃতিবিশিষ্ট শাখাপ্রশাখাযুক্ত এক প্রকার কোষ দেখা যায়, তারাই 'ফাইব্রোসাইট' রূপে পরিচিত।

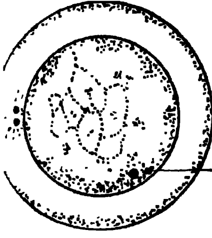
২ এই সময়কালের হিসাব 'টিস্যু কালচার'-এর (tissue culture) কোষের বিভাজনের সময়কাল — মানবদেহে অবস্থিত ফাইব্রোসাইট-এর বিভাজনের সময়কাল নয়।

ফলস্বরূপ ক্রোমোসোমদেহের দ্বিগুণে বৃদ্ধি। কোন-কোন টিস্যুতে টিলো-ফেজ দশার শেষ দিক থেকে **ডি.এন.এ.-র সিন্থেসিস** (DNA synthesis) আরম্ভ হয় এবং ইন্টারফেজ দশার শেষভাগ পর্যন্ত এই সিন্থেসিস চলতে থাকে। অধিকাংশ ক্ষেত্রে ইন্টারফেজ দশার মধ্যভাগের ভিতরেই এই কাজ শেষ হয়ে যায়। কোষকে মাইটোসিসের উপযুক্ত করার জন্য 'ডি.এন.এ. সিন্থেসিস' একটি গুরুত্বপূর্ণ পদক্ষেপ। 'ডি.এন.এ. সিন্থেসিস' সম্পূর্ণ না হ'লে মাইটোসিস শুরু হয় না। ডি.এন.এ. সিন্থেসিসের সময়কালটি 'এস্ দশা' (S stage) রূপে পরিচিত। 'এস্ দশা'-র পূর্ববর্তী ও পরবর্তী কালগুলিকে যথাক্রমে 'জি১ দশা' ($G_1$ stage) ও 'জি২ দশা' ($G_2$ stage) বলা হয়ে থাকে।

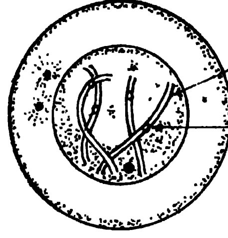
**প্রোফেজ** (*Prophase*) **:**

মাইটোটিক-চক্রের দশাগুলির মধ্যে প্রোফেজের স্থিতিকাল সর্বাপেক্ষা বেশী। এই দশায় নিউক্লিয়সের ভিতর ক্রোমোসোমগুলির নিজস্ব সত্তা (entity) প্রকাশ পায় এবং প্রতিটি ক্রোমোসোমকে লম্বালম্বিভাবে দ্বিধা-বিভক্ত থাকতে দেখা যায়। ক্রোমোসোমের অর্ধাংশগুলিকে **ক্রোমাটিড** (chromatid) বলা হয়ে থাকে (৪১নং চিত্র)। কোন ক্রোমোসোমের ক্রোমাটিড দু'টি এই দশায় পরস্পর থেকে সম্পূর্ণ বিচ্ছিন্ন হয়ে যায় না। সেণ্ট্রোমীয়ার (centromere) অঞ্চলে তারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত থাকে (৪১নং চিত্র)।

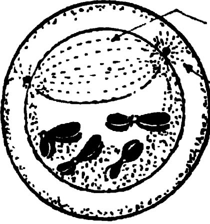
ক্রোমোসোমগুলি এই দশায় পৃথক্-পৃথক্ রূপে দৃষ্টিগোচর হওয়ার কারণ হচ্ছে, তাদের ঘনীভবন (condensation) প্রাপ্তি। এই ঘনীভবনের কারণ, প্রতিটি ক্রোমাটিডের কয়েল্ড্ (coiled) বা কুণ্ডলীকৃত হওয়া এবং ক্রোমাটিডদু'টিরও পরস্পরকে জড়িয়ে কুণ্ডলাকার প্রাপ্তি। ক্রোমাটিডদেহে দু'প্রকারের কয়েল্ দেখা যায়—বড় **সোমাটিক কয়েল্** (somatic coils) বা **মেজর কয়েল্** (major coils) এবং ছোট-ছোট **মাইনর কয়েল্** (minor coils) [ ৪২নং চিত্র ]। সোমাটিক কয়েল্গুলি প্রথমাবস্থায় অপেক্ষাকৃত ছোট থাকে এবং প্রোফেজ দশার অগ্রগমনের সাথে-সাথে তাদের সংখ্যা হ্রাস পায় কিন্তু ব্যাস (diameter) বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয়। ফলে ক্রোমোসোমগুলিকে আগের তুলনায় মোটা দেখায়। প্রতিটি ক্রোমোসোমের ক্রোমাটিডদু'টি পরস্পরকে নিবিড়ভাবে জড়িয়ে থাকে। অধিকাংশ কোষেই তাদের সহজে পৃথক্ করা যায় না। প্রকৃতপক্ষে, তারা একসাথে পাক খেয়ে (twisted) থাকে। ক্রোমাটিডদু'টির এই অ্যাসোসিয়েশান-কে (association) বা



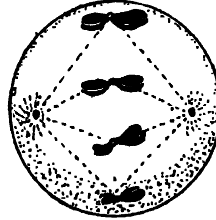

ইন্টারফেজ্



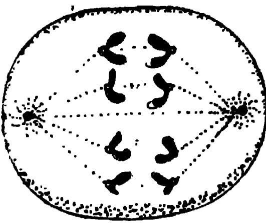

মধ্য প্রোফেজ্



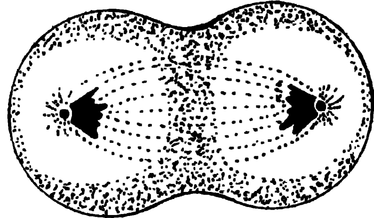

প্রোফেজের শেষভাগ



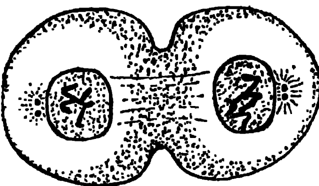
মেটাফেজ্



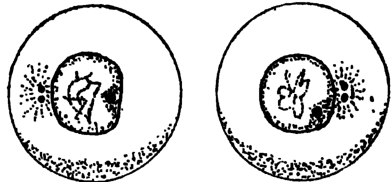
অ্যানাফেজ্



টিলোফেজের সূচনা

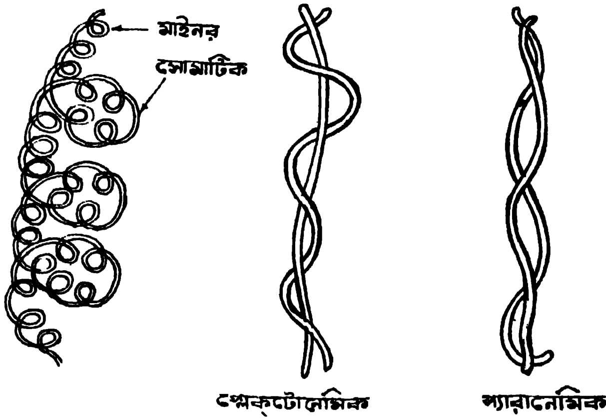


টিলোফেজের শেষভাগ



দুইটি অপত্য কোষ

৪১ নং চিত্রঃ—চারটি ক্রোমোসোমসমন্বিত একটি প্রাণি-কোষের মাইটোসিসের নক্‌সাকার চিত্র।




৪২ নং চিত্রঃ—বিভিন্ন প্রকারের প্রোফেজ কয়েল্‌।

সম্মিলনকে **প্লেক্‌টোনেমিক কয়েলিং**[১] (plectonemic coiling) বলা হয়। কয়েল্‌গুলি যত বৃদ্ধি পেতে থাকে নিউক্লিওলসটি ততই আকারে ছোট হতে থাকে এবং প্রোফেজ দশার শেষভাগে তা সম্পূর্ণরূপে অদৃশ্য হয়ে যায়। নিউক্লিওলসের ভিতরকার বস্তুসমূহের বেশ কিছুটা অংশ ক্রোমোসোমগুলির দেহে জমা হয়।

নিউক্লিয়সের ভিতর উপরিউক্ত ফিজিক্যাল পরিবর্তনগুলির (physical changes) সাথে-সাথে কিছু-কিছু কেমিক্যাল পরিবর্তনও ঘটে থাকে। এই পরিবর্তনগুলির মধ্যে অন্যতম হচ্ছে, ক্রোমোসোমদেহে আর.এন.এ. (RNA) এবং ফস্‌ফোলিপিড-এর (phospholipid) পরিমাণ বৃদ্ধি। কোন-কোন লেখকের মতে, ক্রোমোসোমদেহে আর.এন.এ. ও ফস্‌ফোলিপিডের পরিমাণ বৃদ্ধিই তাদের ঘনীভবনের কারণ।

প্রোফেজ দশার সারাক্ষণই ক্রোমাটিডগুলির বাইরের রেখাটিকে (outline) লোমশ (woolly) দেখায়। প্রোফেজ দশার শেষে লোমশ ভাবটি সম্পূর্ণরূপে অন্তর্হিত হয় এবং বাইরের রেখাটি তখন মসৃণতা লাভ করে। এই

১ মায়োসিস-এর (meiosis) প্রোফেজে ক্রোমাটিডগুলির যে অ্যাসোসিয়েশান ঘটে তা থেকে এই অ্যাসোসিয়েশান সম্পূর্ণ ভিন্ন ধরণের। মায়োসিস-এর কয়েল্‌ 'প্যারানেমিক কয়েলিং' (paranemic coiling) রূপে পরিচিত এবং সেক্ষেত্রে ক্রোমাটিডগুলিকে পাশ্বীয় দিক থেকে (laterally) সহজেই পৃথক্‌ করা যায়।

দশার অন্তিম-লগ্নে নিউক্লিয়ার মেমব্রেনটি ধ্বংসপ্রাপ্ত হয় এবং তার অংশসমূহ এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের অংশ রূপে সাইটোপ্লাজ্‌মের এদিক-ওদিকে ছড়িয়ে পড়ে। অবশ্য কোন-কোন প্রোটোজোয়া-তে (protozoa) নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের ধ্বংসপ্রাপ্তি ঘটে না এবং সম্পূর্ণ মাইটোটিক-চক্রটি নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের ভিতরেই ঘটে থাকে।

**প্রোমেটাফেজ বা প্রিমেটাফেজ** *(Pro- or Pre-metaphase)* :

যে সময়ে কোষের ভিতর স্পিণ্ড্‌ল্ (spindle) বা বেম-যন্ত্র নির্মিত হতে থাকে [এর সম্পর্কে এই অধ্যায়েরই পরবর্তী এক জায়গায় আলোচনা করা হয়েছে] এবং যে সময়ে মনে হয় যে ক্রোমোসোমমণ্ডলী নির্মীয়-মান স্পিণ্ড্‌লের নিরক্ষরেখায় (equator) পৌঁছানোর জন্য চেষ্টা করছে, ফলে একের সঙ্গে অপরের ধাক্কাধাক্কি ঘটছে, সেই সময়টিকে প্রো- বা প্রি-মেটাফেজ দশা বলা হয়ে থাকে। প্রতিটি ক্রোমোসোমের সেন্ট্রোমীয়ার স্পিণ্ড্‌ল্-ফাইবার-এর (spindle fibres বা বেম-তন্তু) সঙ্গে. যেকোন ভাবেই হোক. যুক্ত হয় এবং এই সংযুক্তি ক্রোমোসোমগুলিকে স্পিণ্ড্‌লের নিরক্ষ-রেখার দিকে চালিত হতে সাহায্য করে।

**মেটাফেজ** *(Metaphase)* :

মেটাফেজ দশায় ক্রোমোসোমগুলি স্পিণ্ড্‌লের নিরক্ষীয় অঞ্চলে (equatorial region) অবস্থান করে। প্রতিটি ক্রোমোসোমের সেন্ট্রো-মীয়ারটি থাকে প্রকৃত নিরক্ষ-রেখায় এবং বাহুগুলি সন্নিহিত সাইটো-প্লাজ্‌মের ভিতর যদৃচ্ছভাবে প্রসারিত থাকে। এই দশায় ক্রোমোসোমগুলি তাদের কয়েলিং-এর বা কুণ্ডলাকার-প্রাপ্তির চরম-সীমায় পৌঁছায়। ফলে মাইটোসিসের এই দশায় তাদের আকার সর্বকালের তুলনায় ক্ষুদ্র ও মোটা হয়ে থাকে। এইসময়ে সোমাটিক কয়েলগুলির সংখ্যা হয় সর্বাপেক্ষা কম, কিন্তু তাদের ব্যাস হয় সর্বাধিক এবং ক্রোমাটিডগুলি আর একে অপরের সঙ্গে পাক খেয়ে (twisted) থাকে না। ফলে, তারা পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়ে পাশাপাশি অবস্থান করে।

প্রোফেজ-এর তুলনায় মেটাফেজ-এর স্থিতিকাল খুব সংক্ষিপ্ত, তবে অ্যানাফেজ-এর তুলনায় কিছুটা দীর্ঘ। সারা মেটাফেজ দশায় সেন্ট্রো-মীয়ার-এর আচরণ থেকে প্রতীয়মান হয় যে, সেটি অবিভক্ত (undivided) অবস্থায় রয়েছে। তবে খুব সম্ভবত, ক্রোমোসোমের অন্যান্য অংশের যখন রেপ্লিকেশান (replication বা প্রতিরূপসৃষ্টি) ঘটতে থাকে সেসময়ে

ওটিরও কেমিক্যাল রেপ্লিকেশান বা রাসায়নিক প্রতিরূপ সৃষ্টি হয়ে থাকে, কিন্তু অপত্য সেন্ট্রোমীয়ারদুটি (daughter centromeres), যেকোন কারণেই হোক, পৃথক্ হয়ে যায় না। মেটাফেজ দশার অন্তিমলগ্নে সেন্ট্রোমীয়ারটি বিভক্ত হয়ে যায়, ফলে প্রতিটি ক্রোমোটিড্ তখন নিজস্ব সেন্ট্রোমীয়ার লাভ করে।

**অ্যানাফেজ** (*Anaphase*) **ঃ**

মাইটোসিসের সর্বাপেক্ষা স্বল্পস্থায়ী দশা হচ্ছে অ্যানাফেজ। এই দশায় পৃথগীকৃত ক্রোমাটিডগুলি (daughter chromatids) স্পিন্ড্লের বিপরীত মেরুর (pole) দিকে ধাবিত হয় (৪১ নং চিত্র)। যে মুহূর্তে ক্রোমাটিডগুলির এই চলন শুরু হয় সেই মুহূর্ত হতেই অ্যানাফেজ-এর সূচনা হয়। ক্রোমাটিডের যে অংশটি মেরুর দিকে প্রথম ধাবিত হয় সেটি হচ্ছে সেন্ট্রোমীয়ার। এরাই ক্রোমাটিডগুলিকে মেরুর দিকে টেনে নিয়ে যায়। সবক'টি অপত্য ক্রোমোসোম (আগে যাদের ক্রোমাটিড বলা হয়েছে) নিজ-নিজ মেরুতে পেঁীছিয়ে গেলে অ্যানাফেজ দশার সমাপ্তি ঘটে। এই দশায় ক্রোমোসোমসমূহের কয়েল্গুলি খুলতে আরম্ভ করে, ফলে প্রতিটি ক্রোমোসোমের দৈর্ঘ্যের সামান্য বৃদ্ধি ঘটে।

**টিলোফেজ** (*Telophase*) **ঃ**

টিলোফেজ দশায় অপত্য ক্রোমোসোমগুলির কয়েল্ খুলে যাওয়ার ফলে তাদের দৈর্ঘ্যের বহুল পরিমাণ বৃদ্ধি ঘটে। ফলে তারা পরস্পরের সঙ্গে আবার জট পাকিয়ে যায় এবং তাদের আর পৃথক্ভাবে সনাক্ত করা সম্ভব হয় না। অবশ্য ক্রোমোসোমগুলি সম্পূর্ণরূপে কয়েল্মুক্ত হয় না; কিছু কয়েল্ 'রেলিক কয়েল্' রূপে থেকে যায়। এইসময়েই নিউক্লিওলসের পুনরাবির্ভাব ঘটে। কিভাবে নিউক্লিওলসটি পুনর্গঠিত হয় তা সুস্পষ্ট-রূপে জানা নেই। তবে এ-সম্পর্কে অদ্যাবধি যেসব তথ্য পাওয়া গেছে তা থেকে এরূপ ধারণা করা হয়ে থাকে যে, প্রোফেজ-এর শেষ দিকে নিউ-ক্লিওলসের দেহের যেসব বস্তু ক্রোমোসোমগুলির উপর জমা হয়, টিলো-ফেজ দশায় সেগুলি থেকেই নিউক্লিওলস পুনর্গঠিত হয়ে থাকে। অধিকন্তু, এরূপ সাক্ষ্য-প্রমাণও পাওয়া গেছে যে, টিলোফেজ দশায়, নিউক্লিওলস যে বস্তুটি দিয়ে তৈরী সেই আর.এন.এ.-র (RNA) সিন্থেসিস হয়ে থাকে।

প্রতিটি ক্রোমোসোম-গোষ্ঠীকে ঘিরে ধীরে-ধীরে একটি নিউক্লিয়ার

মেমব্রেনের সৃষ্টি হয়। এইভাবে একটি নিউক্লিয়স দু'টি অপত্য নিউ-ক্লিয়সে (daughter nuclei) পরিণত হয় (৪১ নং চিত্র)।

## সাইটোপ্লাজ্‌মের ঘটনাসমূহ
## (Cytoplasmic events)

আগেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, কোষ-বিভাজনে সাইটোপ্লাজ্‌মেরও একটি ভূমিকা আছে। বিশেষ করে স্পিন্ড্‌ল্‌ ফাইবারগুলি (spindle fibres বা বেম তন্তুগুলি) সাইটোপ্লাজ্‌মে গঠিত হয় এবং যদিও অনেকে ধারণা করে থাকেন যে নিউক্লিয়স থেকেই তাদের উৎপত্তি, তথাপি প্রাণি-কোষে নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের অবলুপ্তির আগেই স্পিন্ড্‌ল্‌ সৃষ্টি হওয়ায় এটাই অনুমিত হয় যে তারা সাইটোপ্লাজ্‌ম থেকে উদ্ভূত হয়।

**সেণ্ট্রিওল** (*Centriole*)**ঃ**

প্রাণিকোষের এক মেরুতে নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের অব্যবহিত বহির্ভাগে ইন্টারফেজ দশায় বিন্দুর মত দু'টি সেন্ট্রিওল দেখা যায়। (এদের সম্বন্ধে প্রথম অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে)। কোষ-বিভাজনের সময় সেন্ট্রি-ওলগুলির একটি সুষম আচরণ চোখে পড়ে। প্রোফেজ দশায় একটি সেন্ট্রিওল নিউক্লিয়সের পরিধির ধার ঘেঁষে চলতে আরম্ভ করে এবং অপরটি স্বস্থানে অবস্থান করে (৪১ নং চিত্র)। এইসময়ে বিচ্ছিন্নতাপ্রাপ্ত সেণ্ট্রিওলদু'টির মধ্যে স্পিন্ড্‌লের বা বেমযন্ত্রের ক্ষুদ্র-ক্ষুদ্র উপাদান দৃষ্টি-গোচর হয়। প্রোফেজ দশা শেষ হবার আগেই চলমান সেন্ট্রিওলটি তার সঙ্গী কর্তৃক অধিকৃত মেরুর বিপরীত প্রান্তে পৌঁছিয়ে যায় এবং এই দুই মেরুর মধ্যবর্তী অঞ্চলটিতে স্পিন্ড্‌ল ফাইবারের বা বেমতন্তুর অবিচ্ছিন্ন বিন্যাস দেখা যায় (৪১ নং চিত্র)। এ ছাড়াও, মেরু থেকে স্পিন্ড্‌ল্‌ ফাইবার চারি-দিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং তাদের মুক্ত প্রান্তগুলি সাইটোপ্লাজ্‌মের মধ্যে থাকে। সেন্ট্রিওলের চারিধারের ফাইবারগুলিকে **অ্যাসট্রাল রশ্মি** (astral rays) বা **অ্যাস্টার** (aster) বলা হয়। মেটাফেজ এবং অ্যানাফেজ দশায় সেন্ট্রি-ওলের গঠনের (structure) কোন পরিবর্তন হয় না। টিলোফেজ দশায় প্রতিটি সেন্ট্রিওল দ্বিধাবিভক্ত হয় (৪১ নং চিত্র) এবং নতুন সেন্ট্রিওলটি পরবর্তী প্রোফেজ দশার পূর্ব পর্যন্ত জন্মদাতা সেন্ট্রিওলটির সঙ্গে যুক্ত থাকে।

উদ্ভিদকোষে সেন্ট্রিওল নেই। তথাপি মেটাফেজ দশা শুরু হবার আগেই সেখানেও স্পিন্ড্‌লের আবির্ভাব ঘটে।

**স্পিন্ড্ল্** (Spindle) বা **অ্যাক্রোমাটিক সরঞ্জাম** (Achromatic apparatus) ঃ

বিভিন্ন কোষে নানা আকৃতির স্পিন্ড্ল্ বা বেমযন্ত্র গঠিত হতে দেখা যায়। কতকগুলি ক্ষেত্রে স্পিন্ড্ল্‌টি একটু লম্বাটে ধরণের হয় এবং তাদের মেরু-প্রান্তগুলি হয় সূক্ষ্মাগ্রবিশিষ্ট। কোন-কোন ক্ষেত্রে এর আকৃতি হয় পিপা-র (barrel) মত এবং মেরুপ্রান্তগুলিকে দেখলে মনে হয় যেন তাদের মাঝখান থেকে ছেঁটে দেওয়া হয়েছে (have been truncated)। অধিকাংশ প্রাণিতে (সব প্রাণিতে নয়) স্পিন্ড্লের দুই মেরুতে দু'টি সেণ্ট্রিওল থাকে।

স্পিন্ড্ল্ কতকগুলি ফাইবার (fibres) বা তন্তু দ্বারা গঠিত হয়ে থাকে। ঐ তন্তুগুলির উপাদানের শতকরা ৯০ ভাগ হচ্ছে প্রোটীন এবং ৫ ভাগ আর.এন.এ. (RNA)। কিছু লিপিড-পাদার্থও তন্তুগুলিতে পাওয়া যায়—ঐগুলি খুব সম্ভবত লাইপোপ্রোটীন রূপে অবস্থান করে।

**শ্রেডার** (Schrader) স্পিন্ড্ল্ ফাইবারগুলিকে তিনটি গোষ্ঠীতে ভাগ করেছেন। (১) **কণ্টিনিউআস ফাইবার** (continuous fibres)—এইগুলি এক মেরু থেকে অপর মেরু পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে; (২) **ক্রোমোসোমাল ফাইবার** (chromosomal fibres)—এইগুলির সাহায্যে সেণ্ট্রোমীয়ারগুলি যে-কোন একটি মেরুর সঙ্গে যুক্ত থাকে; (৩) **ইণ্টারজোনাল ফাইবার** (interzonal fibres)—এরা অ্যানাফেজ দশায় বিচ্ছিন্নতাপ্রাপ্ত ক্রোমাটিড-গুলির মধ্যবর্তীস্থলে অবস্থান করে।

বিভিন্ন প্রকারের স্পিন্ড্ল্ ফাইবারগুলি সাইটোপ্লাজ্‌ম থেকে সম্পূর্ণ ভিন্ন ধরণের একটি পদার্থের মধ্যে অবস্থান করে। এই পদার্থটি সম্পূর্ণ-রূপে অথবা এর বেশীর ভাগ অংশ সম্ভবত নিউক্লিয়ার স্যাপ থেকে উৎপন্ন হয়।

ক'য়কটি উদ্ভিদের 'স্পিন্ড্ল্ বডি'-র (spindle body) উৎপত্তি সম্পর্কে গবেষণা চালিয়ে **বেকার** (Becker) এবং **ওয়াদা** (Wada) এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, স্পিন্ডল বডি-টি সম্পূর্ণরূপে নিউক্লিয়স থেকে উৎপন্ন হয়। কিন্তু তাঁদের উপরিউক্ত সিদ্ধান্ত সব ক্ষেত্রে প্রযুক্ত হতে পারে না। কেননা, অনেক ক্ষেত্রেই দেখা গেছে যে, নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের অবলুপ্তির আগেই কোষের মধ্যে কণ্টিনিউআস ফাইবারগুলির আবির্ভাব ঘটে। অর্থাৎ, এইসব ক্ষেত্রে স্পিন্ড্লের উৎপত্তিটি মিশ্র ধরণের। অন্যভাবে বলা যেতে পারে, আলোচ্য ক্ষেত্রগুলিতে সাইটোপ্লাজ্‌ম এবং নিউক্লিয়স উভয় অংশের পদার্থই স্পিন্ড্ল্ সৃষ্টিতে অংশগ্রহণ করে।

**কণ্টিনিউআস ফাইবারঃ** ফিক্স্‌ড্‌ কোষে কণ্টিনিউআস ফাইবারগুলির সঙ্গে অ্যাস্‌ট্রাল রশ্মির (astral rays) সাদৃশ্য বহুদিন থেকেই চোখে পড়েছে এবং প্রগাঢ় অনুসন্ধানের দ্বারা এটা সমর্থিত হয়েছে যে, নিউক্লিয়স-বহির্ভূত পদার্থ থেকে অর্থাৎ, সাইটোপ্লাজ্‌ম থেকে তারা উৎপন্ন হয়।

কণ্টিনিউআস ফাইবারগুলি বিপরীত দিক থেকে আসা দুটি অ্যাস্‌ট্রাল রশ্মির মিলনের ফলে সৃষ্টি হয়ে থাকে বলে বিবেচিত হয়। এইরূপ বিবেচনা, এদের উৎপত্তি সম্পর্কে উপরিউক্ত ছত্রের বর্ণনার সঙ্গে সঙ্গতিযুক্ত। সংক্ষেপে বলা চলে, কণ্টিনিউআস ফাইবারগুলির উৎপত্তি নিউক্লিয়স-বহির্ভূত অংশ থেকে হলেও, তাদের উৎপত্তিতে নিউক্লিয়সের কিছুটা প্রভাব অবশ্যই আছে।

অ্যাস্‌ট্রাল রশ্মির সঙ্গে কণ্টিনিউআস ফাইবারের একটি সুস্পষ্ট পার্থক্য হচ্ছে, জীবন্ত-কোষে প্রথমোক্ত রশ্মিগুলি সহজেই দৃষ্টিগোচর হয় কিন্তু শেষোক্ত রশ্মিগুলি, কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্র ছাড়া সহজে চোখে পড়ে না। তবে দু'প্রকার রশ্মিই আকৃতিগতভাবে (structurally) পরস্পরের সাদৃশ্য-যুক্ত। তাদের দৃশ্যমানতার (visibility) পার্থক্য সম্ভবত তাদের রিফ্র্যাক্‌-টিভ ইন্‌ডেক্সের পার্থক্যের জন্যই হয়ে থাকে।

**ক্রোমোসোমাল ফাইবারঃ** এই ফাইবারগুলি ক্রোমোসোমের মুভ্‌মেণ্ট (movement) বা বিচলনে প্রত্যক্ষভাবে সম্পর্কযুক্ত। সুতরাং, প্রথম থেকে এরা গবেষকদের বিশেষ মনোযোগ আকর্ষণ করেছে এবং সেই কারণেই এদের প্রকৃতি ও উৎপত্তি সম্পর্কে বহু হাইপথেসিস (hypothesis বা প্রকল্প) উপস্থাপিত হয়েছে। এই হাইপথেসিসগুলি মোটামুটি এইরূপঃ (ক) মেরু-অঞ্চল (polar region) থেকে তাদের সৃষ্টি হয় এবং ধীরে-ধীরে বর্ধিত হয়ে তারা ক্রোমোসোমগুলির সঙ্গে যুক্ত হয়; (খ) ক্রোমোসোমগুলি থেকে তাদের উৎপত্তি হয় এবং ধীরে-ধীরে বর্ধিত হয়ে তারা মেরু-অঞ্চলে পৌঁছায়; (গ) মেরু-অঞ্চল এবং ক্রোমোসোম উভয়ের ইন্টারঅ্যাক্‌শানস্‌ (interactions) বা পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে তাদের উৎপত্তি হয়।

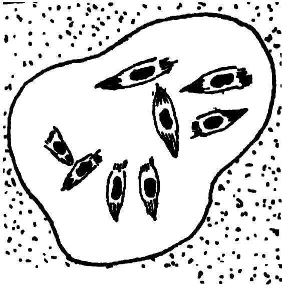
প্রথমোক্ত হাইপথেসিসটি, অর্থাৎ, মেরু-অঞ্চল থেকে সৃষ্টি হয়ে তারা ধীরে-ধীরে ক্রোমোসোমগুলির সঙ্গে যুক্ত হয় এই ধারণাটি সবচেয়ে প্রাচীন ধারণা। এই ধারণার স্বপক্ষে উল্লেখ করা যেতে পারে, অনেক ক্ষেত্রে মেরু-অঞ্চল থেকে উৎপন্ন ফাইবারগুলিকে প্রোমেটাফেজ দশায় নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের উপর চাপ দিতে দেখা গেছে। এর ফলে নিউক্লিয়ার মেমব্রেনটির প্রান্তদেশে খাঁজের সৃষ্টি হয় এবং ধীরে-ধীরে মেমব্রেনটি ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়। কিন্তু যেহেতু ক্রোমোসোমগুলি যদৃচ্ছভাবে ক্রোমোসোমাল ফাইবারের সঙ্গে

যুক্ত থাকে না, তারা যে কেবলমাত্র সেণ্ট্রোমেরিক অঞ্চল (centromeric region) দ্বারা ফাইবারগুলির সঙ্গে যুক্ত থাকে, এই ঘটনা এটাই ইঙ্গিত করে যে ফাইবারগুলির সৃষ্টিতে ক্রোমোসোমগুলির কোন না কোন প্রভাব (influence) অবশ্যই আছে। এক্ষেত্রে উল্লেখ করা প্রয়োজন,' ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলির সৃষ্টি খুব দ্রুততার সঙ্গে ঘটে থাকে। ফলে, মেরু-অঞ্চল থেকে ক্রোমোসোম পর্যন্ত তাদের সৃষ্টির বিভিন্ন ধাপ সম্পর্কে কোন তথ্য লাভ করা সম্ভব হয় নি। বরং, অধিকাংশ সাক্ষ্য-প্রমাণাদি থেকে জানা গেছে যে, নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের অবলুপ্তির সাথে-সাথে আচম্বিতে তাদের আবির্ভাব ঘটে এবং আবির্ভাবের মুহূর্তেই ক্রোমোসোমের সঙ্গে তাদের যুক্ত থাকতে দেখা যায়।

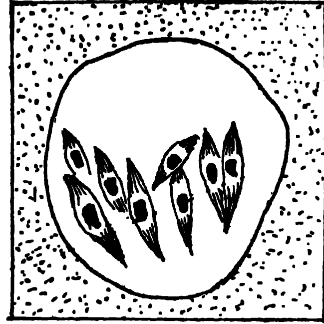
অ্যাক্রস্কিসমাস (*Achroschismus*) নামে পতঙ্গে এবং কক্সিডি (Coccidae) পরিবারভুক্ত বহু পতঙ্গে অনুসন্ধান চালিয়ে ক্রোমোসোম থেকে, আরও সঠিকভাবে বলতে গেলে সেন্ট্রোমীয়ার থেকে, ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলির সৃষ্টি হওয়ার ধারণাটি সমর্থিত হয়েছে। উক্ত পতঙ্গগুলিতে মেরুর সঙ্গে কোনপ্রকার সম্পর্ক না রেখেই ফাইবারগুলির সৃষ্টি হয়। প্রথমাবস্থায় কেবলমাত্র প্রতিটি ক্রোমোসোমের অবস্থানের উপর নির্ভর করেই তাদের লম্ব-অক্ষটি (longitudinal axis) নির্ধারিত হয়। পরবর্তীকালে মেরু-শক্তির (polar force) প্রভাবে তারা পরস্পরের সঙ্গে সমান্তরালভাবে সজ্জিত হয় (৪৩ নং চিত্র)।

মোটকথা, ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলি বহু ক্ষেত্রে মেরু-অঞ্চল এবং সেন্ট্রোমেরিক অঞ্চলের ইন্টার-অ্যাক্শান্স-এ বা পারস্পরিক ক্রিয়ায় সৃষ্টি হলেও, কতিপয় ক্ষেত্রে তারা কেবলমাত্র সেন্ট্রোমীয়ারের সক্রিয়তার ফলেই প্রধানত সৃষ্টি হয়ে থাকে।

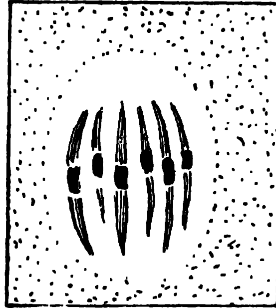
'ডাইরেক্ট স্পিণ্ড্ল্'-এর (direct spindle) বাহ্যিক আকার (configuration) 'ইন্ডাইরেক্ট স্পিণ্ড্ল্'-এর (indirect spindle) উক্ত আকার থেকে ভিন্ন হয়ে থাকে। প্রথমোক্ত ক্ষেত্রে ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলি মেরু এবং সেন্ট্রেমীয়ারের মধ্যে প্রত্যক্ষ-সংযোগ স্থাপন করে। শেষোক্তরূপ স্পিণ্ড্ল্, বেলার-এর (Belar) ধারণা অনুযায়ী, কেবলমাত্র কন্টিনিউআস ফাইবার দ্বারা গঠিত হয় এবং তাদের সঙ্গেই ক্রোমোসোমগুলি যুক্ত থাকে (৪৪ নং চিত্র)। যেসব কোষে স্পিণ্ড্ল্টি সম্পূর্ণরূপে নিউক্লিয়সের বাইরে গঠিত হয় সেইসব কোষে শেষোক্তরূপ স্পিণ্ড্ল্, অর্থাৎ, 'ইনডাইরেক্ট স্পিণ্ড্ল্' পরিলক্ষিত হয়। বেলার উল্লেখ করেছেন যে, 'কর্থিপ্পাস' (*Chorthippus*) নামে ফড়িঙ-এ ক্রোমোসোমগুলিকে



(ক)



(খ)

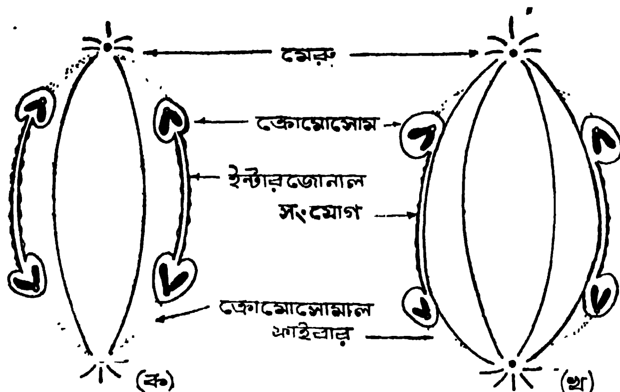


(গ)

৪৩ নং চিত্রঃ—'অ্যাক্রস্‌কিস্‌মাস' নামে পতঙ্গে প্রথম মায়োটিক বিভাজনের সময় নিউক্লিয়সের ভিতর স্পিন্ড্‌লের আবির্ভাব; (ক) প্রোফেজ—ক্রোমোসোমাল ফাইবারের সঙ্গে ক্রোমোসোমের সংযুক্তি দেখানো হয়েছে; (খ) প্রোফেজ ও মেটাফেজের মধ্যবর্তী অবস্থায় স্পিন্ড্‌ল ফাইবারগুলির সজ্জারীতি; (গ) মেটাফেজ [নক্‌সাকার চিত্র]।

একটি উপাদানের দ্বারা ক্রোমোসোমাল ফাইবারের সঙ্গে যুক্ত থাকতে তিনি দেখেছেন এবং তাঁর ধারণা, উক্ত উপাদানটি সেন্ট্রোমীয়ার থেকে নিঃসৃত একপ্রকার তরল সেক্রিশান (secretion বা ক্ষরণ), যা সেন্ট্রোমীয়ার থেকে কন্টিনিউআস ফাইবারের উপর মেরুর দিকে ব্যাপ্ত থাকে (৪৪ নং চিত্র)। 'কর্‌থিপ্পাস' ছাড়া 'সাইক্লপ্‌স্‌' (*Cyclops*), 'আর্টিমিয়া' (*Artemia*) প্রভৃতি প্রাণির শুক্রের দিকের ক্লীভেজগুলিতেও ফাইবারের সঙ্গে সেন্ট্রোমীয়ারের সংযোগকারী উপরিউক্তরূপ উপাদান পরিলক্ষিত হয়েছে।

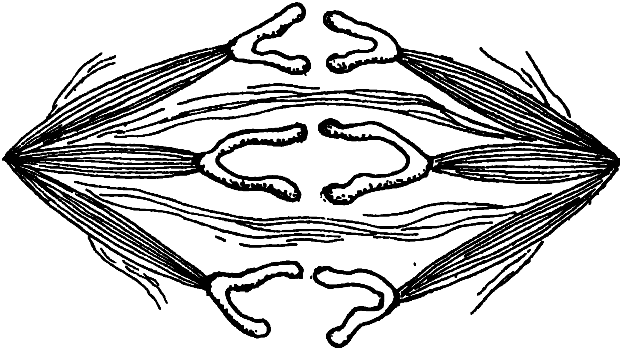
ক্রোমোসোমাল ফাইবারের সঙ্গে সেন্ট্রোমীয়ারের সংযোগকারী উপাদানটির বিস্তারিত গঠন সম্পর্কে এখনও পর্যন্ত কিছু জানা যায় নি। তবে, তার ভিতর কখনও-কখনও 'ফয়েলগ্যান (Feulgen) স্টেন্'-গ্রহণ-




৪৪ নং চিত্রঃ—অ্যানাফেজ দশায় দুইপ্রকার স্পিণ্ড্‌লের রূপ। (ক) ডাইরেক্ট স্পিণ্ড্‌ল—ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলি ক্রোমোসোমগুলিকে মেরুর সঙ্গে প্রতক্ষ্যভাবে যুক্ত করেছে; (খ) ইন্‌ডাইরেক্ট স্পিণ্ড্‌ল—ক্রোমোসোমগুলি কন্টিনিউআস ফাইবারের সঙ্গে যুক্ত।

কারী একটি পদার্থ পাওয়া যাওয়ায় এটি সুস্পষ্টরূপে নির্দেশিত হয় যে, উক্ত সংযোগকারী উপাদানটি ক্রোমোসোম থেকে সৃষ্টি হয়ে থাকে। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ডাইরেক্ট স্পিণ্ড্‌ল্‌-এর প্রতিটি ক্রোমোসোমাল ফাইবারকে কতকগুলি অতি সূক্ষ্ম 'ফাইব্রিল' (fibril) দ্বারা গঠিত থাকতে দেখা যায় (৪৫ নং চিত্র)। প্রতিটি ফাইব্রিলির আনুমানিক ব্যাস ১৫ মিলিমাইক্রা।

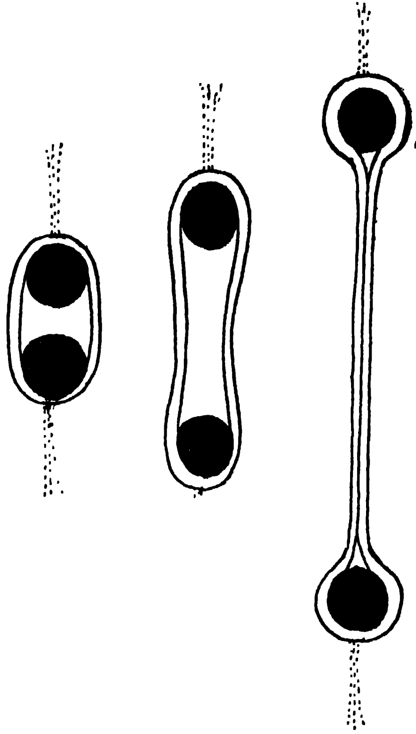
**ইন্টারজোনাল সংযোগ** (Interzonal connections) ঃ অ্যানাফেজ দশায় বিচ্ছিন্নতাপ্রাপ্ত ক্রোমোসোমগুলির মধ্যে সংযোগকারী উপাদানগুলি (connecting elements) এই শ্রেণীর অন্তর্ভুক্ত। কক্সিডি পরিবারভুক্ত অনেক পতঙ্গে এইধরণের উপাদান স্পষ্টরূপে দেখা গেছে। এই উপাদানগুলি যে মেটাফেজ দশার কন্টিনিউআস ফাইবারের অবশিষ্টাংশ নয়, সে-সম্পর্কে **ওয়াসারম্যান** (Wassermann) এবং **ব্লেইয়ার** (Bleier) নিঃসন্দেহ হন। কেননা, পূর্বোক্ত পতঙ্গগুলিতে মেটাফেজ দশায় কোন কন্টিনিউআস ফাইবার চোখে পড়ে না। ইন্টারজোনাল সংযোগের অস্তিত্বের স্বপক্ষে উল্লেখ করা যেতে পারে যে, মেথিলিন ব্লু (methylene



৪৫ নং চিত্রঃ—ক্রোমোসোমাল ফাইবারের সূক্ষ্ম-গঠন দেখানো হয়েছে।

blue) দিয়ে স্টেন্ করা ক্রোমোসোমগুলি মেরুর দিকে চলার সময় তাদের প্রতিটির পিছনদিকে নীল রঙের একটি করে রেখা দেখা যায়। আলোচ্য সংযোগগুলিকে ক্রোমোসোমের পেলিক্ল্ (pellicle) বা আবরণী বলে অনুমান করা হয়। অপত্য দামগুলি (daughter chromosomes) পরস্পর থেকে যতই দূরে যেতে থাকে উক্ত আবরণীগুলি মিউসিলেজ-এর (mucilage) মত, বিচ্ছিন্নতাপ্রাপ্ত ক্রোমোসোমগুলির মাঝখানে ততই প্রসারিত হতে থাকে (৪৬ নং চিত্র)। 'ল্লাভিয়া' (Llaveia) এবং ''প্রোটোটোনিয়া' (*Protortonia*) নামে কক্সিডের ইন্টারজোনাল উপাদানগুলি নলাকৃতিবিশিষ্ট (tubular) হওয়ায় তাদের উৎপত্তি ও প্রকৃতির (nature) উপরিউক্ত অনুমানটি সমর্থিত হয়।

অপরপক্ষে, **এলেনহর্ন্**-এর (Ellenhorn) মতে পূর্বোল্লিখিত ইন্টারজোনাল নলগুলি (tubes) চলমান ক্রোমোসোমসমূহের দ্বারা স্পিণ্ড্ল্ বস্তুতে উৎপাদিত নালী (channels) ছাড়া আর কিছুই নয়। স্পিণ্ড্লের মাধ্যমটির (medium) ভিস্কসিটি বা আঠালোভাব যেসব ক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য ধরণের, সেসব ক্ষেত্রে এলেনহর্ন্ বর্ণিত উপায়ে নালী সৃষ্টি হওয়া অসম্ভব নয়। কিন্তু, ল্লাভিয়া বা প্রোটোটোনিয়া-য় দেখা ইন্টারজোনাল উপাদানগুলি, যাদের নির্দিষ্ট প্রাচীর আছে, তাদের ক্ষেত্রে এলেনহর্নের ব্যাখ্যা প্রযুক্ত নয়। তদুপরি, অনেক ক্ষেত্রেই তাদের দীর্ঘস্থায়িত্ব অর্থাৎ, কোষ-বিভাজন সমাপ্তির পরেও তাদের উপস্থিতি, এটিই নির্দেশ করে যে তারা কেবলমাত্র ক্রোমোসোমের গতিপথের চিহ্নস্বরূপ, এরূপ ধারণা আদৌ যুক্তিযুক্ত নয়।

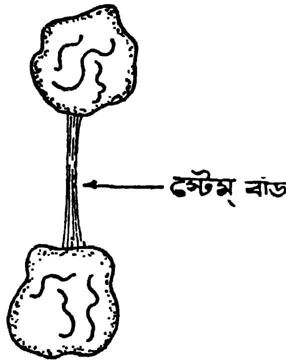


৪৬ নং চিত্রঃ—পেলিক্‌ল্‌ থেকে ইন্টারজোনাল সংযোগের উৎপত্তি যেভাবে কল্পনা করা হয়ে থাকে চিত্রে তা দেখানো হয়েছে।

মেটাফেজ এবং অ্যানাফেজ দশায় স্পিণ্ড্‌ল্‌-এলাকাটি বড়-বড় বস্তু-কণিকা (যথা, মাইটোকন্‌ড্রিয়া)-বিহীন থাকতে দেখা যায়। কেননা, ঐ কণিকাগুলি স্পিণ্ড্‌ল্‌-এলাকার ভিতর থাকলে স্পিণ্ড্‌লের কাজে বিঘ্ন ঘটতে পারে। তবে স্পিণ্ড্‌ল্‌-এলাকার অব্যবহিত বাইরের দিকে এদের সমাবেশ ঘটতে দেখা যায় এবং, খুব সম্ভবত, ক্রোমোসোমগুলির মেরু-প্রান্তের দিকে চলাচলের জন্য প্রয়োজনীয় 'শক্তি' এরা সরবরাহ করে।

কোন্‌ কৌশলের (mechanism) সাহায্যে ক্রোমোসোমগুলি মেরু-প্রান্তের দিকে চলতে থাকে, তা এখনও সুনির্দিষ্টভাবে প্রমাণিত হয় নি। তবে বিভিন্ন ধরণের ফাইবারের সঙ্কোচন ও প্রসারণের ফলেই ক্রোমো-সোমের এই মুভ্‌মেন্ট বা বিচলন ঘটে থাকে বলে অনুমান করা হয়। 'ক্রোমোসোমাল ফাইবার'-গুলির সঙ্কোচন ক্রোমোসোমগুলিকে মেরুর দিকে টেনে নিয়ে যায় এবং সেইসাথে 'ইন্টারজোনাল ফাইবার'-গুলির

প্রসারণ তাদের (ক্রোমোসোমগুলিকে) মেরুর দিকে ঠেলে দেয়। বস্তুতবিকপক্ষে, প্রাণিকোষে স্পিণ্ড্‌লের নিরক্ষীয়-অঞ্চলটি লম্বা হয়ে **স্টেম বডি**১ (stem body) সৃষ্টি হতে দেখা যায় (৪৭ নং চিত্র), এবং এই ব্যাপারটি ইন্টারজোনাল ফাইবারগুলির বিস্তৃতির (elongation) মাধ্যমে ক্রোমোসোমগুলিকে ঠেলে দেওয়ার সম্ভাবনাকে ইঙ্গিত করে। উদ্ভিদ্‌কোষের অনমনীয় সেল-ওয়াল বা কোষ-প্রাচীর 'স্টেম বডি' সৃষ্টিতে বাধা দেয়।




৪৭ নং চিত্রঃ—টিলোফেজ দশায় 'স্টেম বডি'-কে দেখানো হয়েছে।

ক্রোমোসোমের বিচলন সম্পর্কে এই অধ্যায়ের অন্যত্র বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে।

**সাইটোকাইনেসিস** (*Cytokinesis*)ঃ

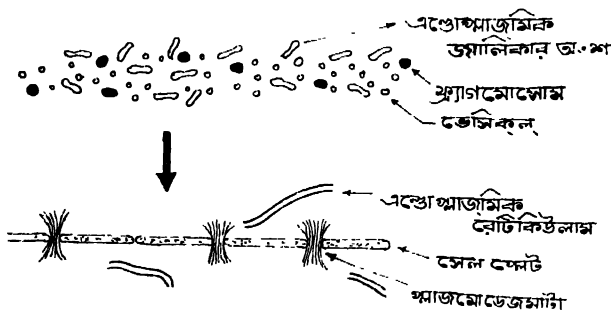
টিলোফেজ দশা চলাকালীনই সাইটোপ্লাজ্‌মের বিভাজন (division) বা সাইটোকাইনেসিস শুরু হয়ে যায় এবং টিলোফেজ ও সাইটোকাইনেসিস-এর সমাপ্তি প্রায় একইসময়ে ঘটে।

প্রাণিকোষে এবং অনেক উদ্ভিদ্‌কোষে, সাইটোকাইনেসিসের শুরুতে কোষের মাঝামাঝি জায়গায় প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনটি উভয়দিক থেকে সামান্য

১ স্পিণ্ড্‌লের নিরক্ষীয়-অঞ্চলটির যখন অধিকমাত্রায় বিস্তারলাভ (elongation) ঘটে তখন অঞ্চলটি অনুরূপ সরু হয়ে যায়, অবশেষে অঞ্চলটি কতিপয় সুতোর মত বস্তুর একটি সরু গুচ্ছ রূপে প্রতিভাত হয়—একেই 'স্টেম বডি' বলে।

পরিমাণে ভিতর দিকে ঢুকে পড়ে। প্লাজ্‌মা-মেমব্রেনের এই ভিতর দিকে ঢুকে পড়াটা ক্রমশ বৃদ্ধি পেতে থাকে, যতক্ষণ না সাইটোপ্লাজ্‌মটি সম্পূর্ণরূপে দ্বিধাবিভক্ত হয়। এইভাবে একটি কোষ থেকে দু'টি অপত্য কোষ জন্মলাভ করে। প্রতিটি নতুন কোষের ক্রোমোসোম-সংখ্যা এবং ফিজিওলজিক্যাল পোটেনশ্যাল (physiological potential বা শারীরবৃত্তীয় বিভব) জন্মদাতা কোষটির সমান হয়ে থাকে।

কোন-কোন উদ্ভিদ্‌কোষে **সেল প্লেট** (cell plate) গঠনের মাধ্যমে সাইটোকাইনেসিস হয়ে থাকে। নিম্নলিখিত পদ্ধতিতে 'সেল প্লেট' গঠিত হয়। ক্রোমোসোমগুলি দু'টি গোষ্ঠীতে বিভক্ত হয়ে যাবার পর নিরক্ষীয়-অঞ্চলে (equatorial region) তিন প্রকারের জিনিষ জমা হতে দেখা যায়, যথা, এণ্ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকিউলামের কিছু ছোট-ছোট অংশ, কিছু ছোট ভেসিক্‌ল্‌ (vesicles) এবং ফ্র্যাগ্‌মোসোম (phragmosome) [ ৪৮নং




৪৮ নং চিত্র ঃ—সেল প্লেটের সৃষ্টি।

চিত্র ]। ভেসিক্‌ল্‌গুলি পরস্পর যুক্ত হয়ে কোষটির মাঝখানে আড়াআড়িভাবে একটি প্রায় অবিচ্ছিন্ন অঙ্গ সৃষ্টি করে—এইটিই সেল প্লেট।

### মাইটোসিসের গুরুত্ব
### (Significance of mitosis)

১। একটি জাইগোট-কে (zygote) ভ্রূণে রূপান্তরিত করা এবং ভ্রূণের বৃদ্ধি (growth) ও ডেভেলপ্‌মেন্ট-এ (development বা ক্রমবর্ধন) মাইটোসিসের প্রয়োজনীয়তা অনস্বীকার্য।

২। পরিণত জীবদেহেও এর প্রয়োজনীয়তা অপরিসীম। উচ্চশ্রেণীর প্রাণির (higher animals) দেহে নতুন রক্তকণিকার সৃষ্টিতে, এপিডারমিস-

এর (epidermis) মৃত কোষগুলির এবং দেহের অন্যান্য অংশে আঘাত দ্বারা ধ্বংসপ্রাপ্ত কোষগুলির পরিবর্তে নতুন কোষ সৃষ্টিতে মাইটোসিস গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে থাকে।

৩। মাইটোসিস ব্যাতিরেকে অযৌন বংশবিস্তার (asexual reproduction) অসম্ভব। যৌন বংশবিস্তারেও (sexual reproduction) এর একটি ভূমিকা আছে। (এ সম্পর্কে পরবর্তী অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে)।

৪। কতিপয় প্রাণী নিজেদের দেহের কোন-কোন নষ্ট অঙ্গকে রিজেনারেট (regenerate বা পুনরুৎপাদিত) করতে পারে। এই রিজেনারেশানের মূলে আছে মাইটোসিস।

৫। ক্যান্সার (cancer) বা কর্কট রোগের মূলে আছে মাইটোটিক সেল বিভাজনের প্রাদুর্ভাব ও তার অনমনীয় প্রতিপত্তি।

## মাইটোসিসের প্ররোচক কারণসমূহ
## (Inducing factors)

১। অ্যামিবা-র (*Amoeba*) মত একটি কোষকে পরীক্ষা করলে দেখা যাবে যে, একটি নির্দিষ্ট আয়তন (size) লাভ করবার পর তার বিভাজন ঘটে। আবার, কোষটিকে ক্রমাগত অনাহারে রাখলে তার আয়তন ছোট হয় এবং বিভাজন বন্ধ হয়ে যায়। এথেকে প্রকাশ পায় যে, ‘কোষ-বিভাজন’ নিউক্লিয়স ও সাইটোপ্লাজ্‌মের পরিমাণের অনুপাতটিকে (ratio) কন্‌স্ট্যাণ্ট (constant বা ধ্রুবক) রাখার একটি উদ্যম মাত্র। অর্থাৎ, **নিউক্লিয়সের তুলনায় সাইটোপ্লাজ্‌মের পরিমাণের অত্যধিক বৃদ্ধি ঘটলে মাইটোসিস হয়।** এই ধারণাটি যুক্তিগ্রাহ্য এই কারণে যে, নিউক্লিয়স কোষের সমস্ত কাজকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং সেই নিয়ন্ত্রণকার্য দক্ষতার সঙ্গে পালন করা ততক্ষণই সম্ভব যতক্ষণ সাইটোপ্লাজ্‌মের পরিমাণটি একটি নির্দিষ্ট মাত্রার ভিতর থাকে। সাইটোপ্লাজ্‌মের পরিমাণ যতই বাড়তে থাকে, তার উপর নিউক্লিয়সের নিয়ন্ত্রণক্ষমতা ততই কমতে থাকে। উদাহরণস্বরূপ, একটি অ্যামিবার দেহের প্রতিদিন যে পরিমাণ বৃদ্ধি ঘটে সেই পরিমাণ সাইটোপ্লাজ্‌ম নিত্য তার দেহ থেকে কেটে নিলে দেখা যাবে যে তার আর বিভাজন হচ্ছে না (কেন না, তার নিউক্লিয়স ও সাইটোপ্লাজ্‌মের অনুপাতটি কর্তন-ক্রিয়ার ফলে মোটামুটি কন্‌স্ট্যাণ্ট থাকছে)। অবশ্য ব্যাপারটিকে যতটা সরল বলে মনে হচ্ছে, বাস্তবিকপক্ষে এটি ততটা সরল নয়।

২। এ জিনিষটি সন্দেহাতীতরূপে প্রমাণিত হয়েছে যে, মাইটোসিসের জন্য ‘শক্তি’-র (energy) প্রয়োজন এবং প্রধানত কার্বোহাইড্রেট খাদ্য

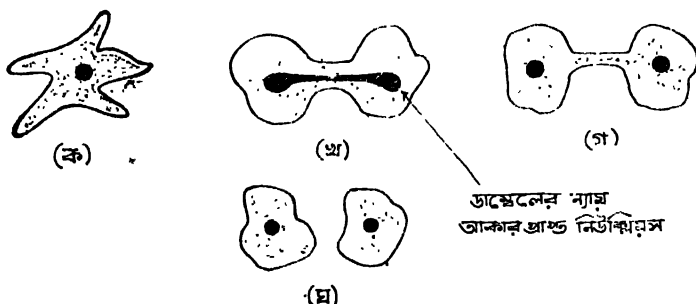
বিনাশের ফলেই এই শক্তির সৃষ্টি হয়। অতএব, যে কারণসমূহ কোষের ভিতরের শক্তি-উৎপাদনকারী খাদ্যগুলির বিনাশ ত্বরান্বিত করে, তাদের পক্ষে কোষ-বিভাজনে উৎসাহ দেওয়াও অস্বাভাবিক নয়।

৩। এটা জানা গেছে যে, কোষ-বিভাজনের আগে নতুন ডি.এন.এ. (DNA) এবং প্রোটীন-এর সিন্থেসিস (synthesis বা সংশ্লেষণ) অবশ্যই ঘটা চাই। এথেকে নির্দেশিত হয় যে, বেশ কিছু এনজাইম-এর সম্মিলিত-ক্রিয়াও মাইটোসিস শুরুর আগে প্রয়োজন।

মোটকথা, মাইটোসিস কোন একটিমাত্র কারণের উপর নির্ভরশীল নয়; নানাপ্রকার কারণের (যার কয়েকটি উপরে উল্লেখ করা হয়েছে) সমন্বয় সাধন হ'লে মাইটোসিসের শুরু হয়।

## অ্যামাইটোসিস
## (Amitosis)

অ্যামিবা (*Amoeba*) প্রভৃতি কতিপয় প্রাণিতে এবং কোন-কোন মেরুদণ্ডী প্রাণির ফিটাল মেমব্রেন-এর (foetal membranes বা ভ্রূণের মেমব্রেন) কোষে বিভাজনের সময় নিউক্লিয়সটি ডাম্বেল-এর আকার ধারণ করে এবং অবশেষে তা থেকে দু'টি নিউক্লিয়সের সৃষ্টি হয় (৪৯নং চিত্র)। এই প্রক্রিয়ায় নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের অবলুপ্তি ঘটে না, স্পিণ্ড্ল্ সৃষ্টি হয় না এবং ক্রোমোসোমগুলি অপত্য-ক্রোমোসোমে (daughter chromosomes) বিভক্ত হয় না। নিউক্লিয়সের বিভাজনের পর কোষের মধ্যভাগটি সঙ্কুচিত হয় এবং অবশেষে সাইটোপ্লাজ্মটি দু'টি অংশে বিভক্ত হয়ে যায়। এই ধরণের কোষ-বিভাজনকে **অ্যামাইটোসিস** (amitosis) বলা হয়।




৪৯ নং চিত্রঃ—অ্যামিবার বাইনারি ফিশন।

বর্তমানে অবশ্য অ্যামিবা এবং আরও কয়েকটি ক্ষেত্রে দেখা গেছে যে, মাইটোসিস পদ্ধতি অনুযায়ীই তাদের কোষের বিভাজন হয়ে থাকে, কেবল তাদের নিউক্লিয়ার মেমব্রেনটির অবলুপ্তি ঘটে না এবং স্পিন্ড্‌লের (spindle) সৃষ্টি হয় না। অর্থাৎ, ক্রোমোসোমগুলি অন্যান্য কোষে মাইটোসিসের সময় যে ধরণের আচরণ করে থাকে, এইসব ক্ষেত্রেও তারা অনুরূপ আচরণ করে।

## ক্রোমোসোমের বিচলন
## (Chromosome movement)

কোন্ কৌশলে (mechanic) ক্রোমোসোমগুলি মেরুর দিকে ধাবিত হয় সে সম্পর্কে নানা হাইপথেসিসের বা প্রকল্পের প্রবর্তন হয়েছে। ঐ হাইপথেসিসগুলির কয়েকটি হ'ল, (১) সঙ্কোচন (contraction) বা বলপূর্বক টানা (pulling), (২) প্রসারণ (expansion) বা বলপূর্বক ঠেলা (pushing), (৩) যুগপৎ সঙ্কোচন ও প্রসারণ, (৪) ভিস্‌কসিটি ও হাইড্রেশান (viscosity and hydration), (৫) ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক্‌স্ (electrostatics), (৬) স্ট্রিমিং (streaming), (৭) ক্রোমোসোম অটোনমি (chromosome autonomy) ইত্যাদি।

### এক ॥ সঙ্কোচন বা বলপূর্বক টানা

এই হাইপথেসিসটি সংক্ষেপে এইরূপঃ—মেটাফেজ ক্রোমোসোমগুলি কোন এক উপায়ে ক্রোমোসোমাল ফাইবারের সঙ্গে যুক্ত থাকে এবং উক্ত ফাইবারগুলি আবার মেরু-অঞ্চলের সঙ্গে যুক্ত থাকে। ঐ ফাইবারগুলির সঙ্কোচনের ফলে ক্রোমোসোমগুলি মেরুর দিকে যায়।

ক্রোমোসোমের বিচলনের কারণ সম্পর্কে এই হাইপথেসিসটি কিছুকাল যাবত সঠিক বলে বিবেচিত হয়েছিল। কিন্তু, স্পিন্ড্‌ল্ সম্পর্কে বিস্তারিত তথ্যলাভের সাথে-সাথে হাইপথেসিসটি কোষবিজ্ঞানীদের সমর্থন হারিয়েছে। এই হাইপথেসিসটির বিরুদ্ধে উত্থাপিত আপত্তিগুলির মধ্যে কয়েকটি হ'ল, বহু ক্ষেত্রে সেন্ট্রিওল থেকে বেশ কিছু দূরেই ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলির অবলুপ্তি ঘটে অথচ ক্রোমোসোমগুলি তখনও চলতে থাকে। স্বল্প কয়েকটি ক্ষেত্রে, ক্রোমোসোমগুলিকে সেন্ট্রিওলটিকে পার হয়ে চলে যেতেও দেখা গেছে। আবার, স্পিন্ড্‌ল্ ফাইবারগুলিকে যেহেতু রবারের মত সঙ্কোচনশীল ও স্থিতিস্থাপক বলে কল্পনা করা হয়, সেইহেতু মেটাফেজ থেকে টিলোফেজ দশায় পৌঁছানোর কালে ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলি যতই সঙ্কুচিত হতে থাকবে ততই তারা পুরু হতে

থাকবে, এটাই স্বাভাবিক প্রত্যাশা। কিন্তু, ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলির আকারের ঐরূপ পরিবর্তনের সমর্থনে কোন সাক্ষ্য-প্রমাণ এখনও পর্যন্ত পাওয়া যায় নি।

### দুই॥ **প্রসারণ বা বলপূর্বক ঠেলা**

ক্রোমোসোমের অ্যানাফেজ বিচলনের আলোচ্য ধারণাটি 'সঙ্কোচন কৌশলের' ঠিক বিপরীত। এই মত অনুযায়ী, নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের অবলুপ্তির পর স্পিণ্ড্ল্ ফাইবারগুলির কোন-কোনটি ক্রোমোসোমের সঙ্গে যুক্ত হয়। এই ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলি ক্রমাগত আকারে লম্বা হতে থাকে। ফলে, এক মেরু থেকে উৎপাদিত ফাইবারগুলি ক্রোমোসোম-গুলিকে তার বিপরীত মেরুতে ঠেলে দেয়। অর্থাৎ, এই হাইপথেসিস অনুযায়ী প্রোফেজ থেকে টিলোফেজ দশা পর্যন্ত ক্রোমোসোমাল ফাই-বারগুলির ক্রমাগত প্রসারণ ঘটতে থাকে।

এই হাইপথেসিসটিকে সঠিক বলে মানতে গেলে কতকগুলি যান্ত্রিক অসুবিধার (mechanical difficulties) সম্মুখীন হতে হয়, সেগুলিকে যথাযথভাবে ব্যাখ্যা করা এখনও পর্যন্ত সম্ভব হয় নি। এই অসুবিধা-গুলির মধ্যে সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য হচ্ছে, ক্রোমোসোমগুলির সামঞ্জস্যপূর্ণ দু'টি ক্রোমাটিড-গোষ্ঠীতে বিভক্ত হওয়ার জন্য ফাইবারগুলির সঙ্গে তাদের যুক্ত হবার প্রক্রিয়াটি। কোন ক্রোমাটিডকে যদি তার বিপরীত দিকের মেরু থেকে উৎপাদিত ফাইবারের ঠেলায় চলতে হয় তাহলে ফাই-বারটিকে তার কাছের ক্রোমাটিডকে পাশ কাটিয়ে গিয়ে প্রথমোক্ত ক্রোমা-টিডটির সাথে যুক্ত হতে হবে।

### তিন॥ **যুগপৎ সঙ্কোচন ও প্রসারণ**

এই মত অনুযায়ী, যুগপৎ সঙ্কোচন ও প্রসারণ ক্রিয়ার মাধ্যমে ক্রোমো-সোমের অ্যানাফেজ বিচলন ঘটে থাকে। **বেলার** (Belar) মনে করেন, বিচ্ছিন্নতাপ্রাপ্ত ক্রোমোসোমগুলির মধ্যবর্তীস্থলে অবস্থিত কণ্টিনিউআস ফাই-বারের অংশগুলির এবং ঐ অঞ্চলের তন্তুবিহীন (non-fibrous) বস্তুটিরও প্রসারণের ফলে ক্রোমাটিডগুলি ঠেলা পেয়ে দুই মেরুর দিকে চলতে থাকে। প্রতিটি ট্র্যাক্শান ফাইবার (traction fibre) [ যে অংশের সাহায্যে কোন ক্রোমাটিডের সেণ্ট্রোমীয়ারটি কণ্টিনিউআস ফাইবারের সঙ্গে যুক্ত থাকে ] কণ্টিনিউআস ফাইবারের উপর দিয়ে গ্লাইড (glide) করে চলতে থাকে। শুধু তাই নয়, তাদের (ট্র্যাক্শান ফাইবারগুলির) কিছুটা সঙ্কোচনও ঘটে

থাকে। এই সঙ্কোচন এবং ইণ্টারজোনাল অংশের প্রসারণের ফলে অ্যানাফেজ বিচলন সম্ভব হয়।

ইণ্টারজোনাল অংশের প্রসারণের ধারণাটির বিরুদ্ধে প্রধান আপত্তি হচ্ছে, বহু স্পিসিসে সবকটি ক্রোমোসোমের চলার গতি সমান হয় না। বস্তুত, কতকগুলি জীবে ইউনিভ্যালেণ্ট (univalent) ক্রোমোসোমগুলিকে অন্যান্য ক্রোমোসোমের তুলনায় অনেক পিছনে পড়ে থাকতে দেখা যায়। ইন্টারজোনাল অংশটির সামগ্রিক প্রসারণ ঘটলে ঐরূপ অবস্থা কিছুতেই সম্ভব হ'ত না।

**রিস** (Ris)-এর মতে, ক্রোমোসোমের অ্যানাফেজ বিচলনের দু'টি পৃথক্ ধাপ (step) আছে। প্রথম ধাপে, ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলির সঙ্কোচন ঘটে। দ্বিতীয় ধাপে, সমগ্র স্পিণ্ড্‌ল্‌টির প্রসারণ ঘটে। ফলে, প্রথম ধাপের তুলনায় দ্বিতীয় ধাপে ক্রোমোসোমের দু'টি গোষ্ঠী পরস্পর থেকে আরও দূরে সরে যায়।

মনে রাখা দরকার, 'স্পিণ্ড্‌লের প্রসারণ' বিচ্ছিন্নতাপ্রাপ্ত ক্রোমোসোমগুলিকে পরস্পর থেকে দূরে সরিয়ে দিলেও, এই ক্রিয়ার ফলে ক্রোমোসোমগুলি মেরুর কাছে পৌঁছাতে পারে না। কেননা, ঐ প্রক্রিয়ার ফলে মেরু দু'টিও ক্রোমোসোমগুলির সাথে-সাথে সরে যেতে থাকে। অর্থাৎ, ক্রোমোসোমগুলির মেরু-অঞ্চলে পৌঁছানোর জন্য ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলির সঙ্কোচন অত্যাবশ্যকীয়। অতএব দেখা যাচ্ছে যে, সঙ্কোচন এবং প্রসারণ ক্রিয়া দু'টি যুগপৎ চলা প্রয়োজন।

### চার ॥ **ভিস্‌কসিটি ও হাইড্রেশান**

ক্রোমোসোমের বিচলনের কৌশল হিসাবে কোষের ভিতর 'ভিস্‌কসিটির আনুক্রমিক (gradual) পরিবর্তন'-এর মতটি **ওয়াসারম্যান** (Wasserman) কর্তৃক প্রবর্তিত হয়েছে। তাঁর বর্ণনা অনুযায়ী, "যখন আমরা স্পিণ্ড্‌লের সৃষ্টি হতে দেখি—অন্যভাবে বলা যেতে পারে, মেরু-অঞ্চল থেকে নিরক্ষীয়-অঞ্চলের দিকে যখন জেল (gel)-দশার ক্রমবিকাশ ঘটতে থাকে, তখন ক্রোমোসোমগুলি মেটাফেজ প্লেটের দিকে চালিত হয়। অতএব, উক্ত ঘটনা দু'টি (জেল-দশার ক্রমবিকাশ এবং মেটাফেজ প্লেটের দিকে ক্রোমোসোমের বিচলন) পরস্পর সম্বন্ধযুক্ত। সুতরাং আমরা বলতে পারি, ভিস্‌কসিটির পরিবর্তনের ফলে ক্রোমোসোমের বিচলন ঘটে থাকে।"

এই মত অনুযায়ী, উক্ত প্রক্রিয়াটি বিপরীত দিকে ঘটতে থাকলে ক্রোমোসোমের অ্যানাফেজ বিচলন হবে। ক্রোমাটিডগুলি সামান্যমাত্রায় পরস্পর থেকে পৃথক্ হওয়ার সূচনামাত্রই ইণ্টারজোনাল বস্তুটির ভিস্‌কসিটি বৃদ্ধি

পেতে থাকে। নিরক্ষীয়-অঞ্চল থেকে কোষের প্রান্তগুলির দিকে এই প্রক্রিয়ার ক্রমবিকাশের সাথে-সাথে ক্রোমাটিডের দু'টি গোষ্ঠী পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়ে মেরুর দিকে চলতে থাকে।

এই মতের বিরুদ্ধে প্রধান আপত্তি হিসাবে **ব্লেইয়ার** (Bleier) বলেছেন, অনেক ক্ষেত্রেই মায়োসিসের সময় বাইভ্যালেণ্টগুলিকে পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়ে বিপরীত মেরুর দিকে যেতে দেখা যায়, কিন্তু ইউনিভ্যালেণ্ট-গুলি বেশ কিছুক্ষণ পিছনে পড়ে থাকে। ক্রোমোসোমের এই ধরণের ভিন্নরূপ বিচলন (diverse movement) এই মতের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ নয়। অর্থাৎ, কেবলমাত্র ভিস্‌কসিটির পরিবর্তনের দ্বারা ক্রোমোসোমের বিচলনের উপযুক্ত ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব নয়।

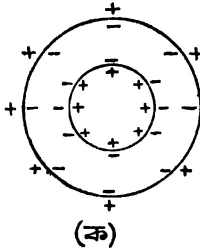
**কনার্ড**-এর (Conard) মতে ডিহাইড্রেশান-এর (dehydration বা নিরুদন) মাধ্যমে নিউক্লিয়সের আয়তনের হ্রাসপ্রাপ্তি বা সঙ্কোচনের ফলে মেটাফেজ দশার সৃষ্টি হয়, অর্থাৎ, ক্রোমোসোমগুলি নিরক্ষীয় অঞ্চলে (equatorial region) উপস্থিত হয়। তাঁর মতে, দু'টি দুহিতা-ক্রোমোসোমের (daughter chromosomes) মধ্যবর্তী সংকীর্ণ অঞ্চলটিতে অবস্থিত বস্তুসমূহের হাইড্রেশান-এর (hydration বা জলযোজন) ফলে বিস্তার ঘটে অ্যানাফেজ বিচলন হয়ে থাকে। কনার্ড, ক্রোমোসোমের বিচলনের ওয়াসারম্যান প্রবর্তিত 'ভিস্‌কসিটি পরিবর্তন'-এর মতটির পরিবর্তে 'হাইড্রেশান' মতটির প্রবর্তন করেন। এক্ষেত্রে উল্লেখ করা যেতে পারে, বেলার-এর 'যুগপৎ সঙ্কোচন ও প্রসারণ' মতটিতেও একটি বিশেষ অঞ্চলের প্রসারণকে অ্যানাফেজ বিচলনের ভিত্তি হিসাবে ধরা হয়েছে। উপরে বর্ণিত ব্লেইয়ার-এর আপত্তিটি এই ধরণের সবক'টি মতের ক্ষেত্রেই সমভাবে প্রযোজ্য।

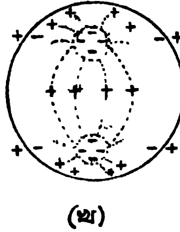
## পাঁচ ॥ **ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক্‌স্‌**

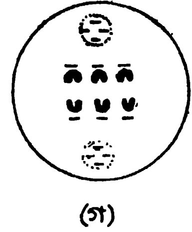
বহু গবেষক ক্রোমোসোমের বিচলনের মূলে ম্যাগ্‌নেটিক ফোর্স (magnetic force বা চৌম্বক বল) অথবা ইলেক্‌ট্রিক্যাল ফোর্স-এর (electrical force বা বৈদ্যুতিক বল) উপস্থিতি কল্পনা করেছেন। এই মত অনুযায়ী, কতকগুলি বিশেষ অবস্থায় ক্রোমোসোমসমূহ তড়িতায়িত বস্তুকণার (electrified particles) মত আচরণ করে এবং একটি ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক ক্ষেত্রে (electrostatic field) তাদের বিচলন ঘটে।

***লিলি***-র (Lillie) মতে, প্লাজ্‌মা মেমব্রেন ও নিউক্লিয়ার মেমব্রেনটি সেমি-পার্মিয়েব্‌ল্ এবং ৫০ক নং চিত্রে যেভাবে দেখানো হয়েছে সেইভাবে তারা

পোলারাইজ্‌ড্‌ (polarized বা ছন্ন) থাকে। সাইটোপ্লাজ্‌মটি থাকে ইলেক্‌ট্রোনেগেটিভ (electronegative) এবং ক্রোমোসোম ছাড়া নিউক্লিয়সের অন্যান্য উপাদানগুলি থাকে ইলেক্‌ট্রোপজিটিভ (electropositive); ক্রোমোসোমগুলি ইলেকট্রোনেগেটিভ। প্লাজ্‌মা মেমব্রেনের আয়নিক পার্মিয়েবিলিটি (ionic permeability) কোন-কোন অঞ্চলে বৃদ্ধি পাওয়ার ফলে সেই অঞ্চলগুলিতে মেরুর (pole) সৃষ্টি হয়। মেরু অঞ্চলগুলিতে পজিটিভ এবং নেগেটিভ আয়নের


(ক)


(খ)


(গ)

৫০ নং চিত্রঃ—লিলি-র ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক্‌স হাইপথেসিসের নক্‌সাকার চিত্র।

স্বচ্ছন্দ বিনিময় হয়। এর পরিণতিস্বরূপ ডিপোলারাইজেশান (depolarization), অর্থাৎ আয়নসমূহের মেরুর বিপরীত দিকে গমন, ধীর গতিতে ঘটতে থাকে। তার ফলে তলবর্তী সাইটোপ্লাজ্‌মটি কিছু সময় নেগেটিভ চার্জ-যুক্ত থাকে। কোষের ডিপোলারাইজ্‌ড্‌ পরিধি (periphery) এবং মেরু দু'টির মধ্যবর্তী অংশের 'লাইনস্‌ অফ্‌ ফোর্স' জুড়ে কোলয়েড (colloid) বস্তুর সজ্জার ফলে অ্যাস্‌ট্রাল রশ্মির উদ্ভব হয় (৫০খ নং চিত্র)। এর ফলে ইলেক্‌ট্রোনেগেটিভ ক্রোমোসোমগুলির ইলেক্‌ট্রোপজিটিভ গুণ-বিশিষ্ট কেন্দ্রীয় অঞ্চলে সমাবেশ ঘটে এবং নেগেটিভ গুণসম্পন্ন দু'টি মেরুর প্রবল বিকর্ষণী ক্ষমতার (repulsive force) প্রভাবে ক্রোমোসোম-গুলি মেটাফেজ প্লেটে সজ্জিত হয়।

এই সময়ে প্রতিটি ক্রোমোসোম দ্বিধাবিভক্ত থাকে এবং দুহিতা ক্রোমো-সোমগুলির (daughter chromosomes) পরস্পরকে দূরে ঠেলা, অর্থাৎ অ্যানাফেজ বিচলন, অতঃপর সুরু হয়। এই কাজটি খুব সহজসাধ্য বলে মনে হয় না। কেননা, দুহিতা ক্রোমোসোমগুলিকে মেরু অঞ্চলের প্রবল বিকর্ষণী ক্ষমতার প্রভাব কাটিয়ে তবেই সেদিকে চলতে হয়। এই অসুবিধাটিকেই একসময়ে ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক্‌স্‌ মতের বিরুদ্ধে প্রধান আপত্তি হিসাবে ধরা হয়েছিল। কিন্তু এই মতটি যে সিদ্ধান্ত (premiss)-

নির্ভর তার পরিপ্রেক্ষিতে ক্রোমোসোমগুলির পক্ষে উপরিউক্ত অসুবিধাটি কাটিয়ে ওঠা মোটেই কষ্টসাধ্য নয়। মেরু অঞ্চলগুলির যতই ডিপোলারাইজেশান ঘটতে থাকে তাদের বিকর্ষণী ক্ষমতা ততই হ্রাস পেতে থাকে। ফলে, ক্রোমোসোমগুলির পক্ষে মেরুর দিকে চলা খুব অসুবিধা-জনক হয় না।

লিলি-র হাইপথেসিসের সঙ্গে বহুল সাদৃশ্যযুক্ত একটি হাইপথেসিস পরবর্তীকালে **কুওয়াদা** (Kuwada) কর্তৃক প্রবর্তিত হয়েছে। তাঁর ধারণা, অ্যানাফেজ দশা আরম্ভের অব্যবহিত পূর্বে ইলেক্‌ট্রোনেগেটিভ ক্রোমোসোমগুলি ইলেক্‌ট্রোপজিটিভ হয়ে যায়। এর পরিণতিস্বরূপ নেগেটিভ মেরুদুটি তাদের আকর্ষণ করতে থাকে। তাঁর মতে, নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের অবলুপ্তি ঘটায় নেগেটিভ ক্রোমোসোমগুলি পজিটিভ সাইটো-প্লাজ্‌মের সংস্পর্শে আসে; এর ফলেই ক্রোমোসোমগুলির চার্জ-এর ঐ গুরুত্বপূর্ণ পরিবর্তনটি ঘটে থাকে।

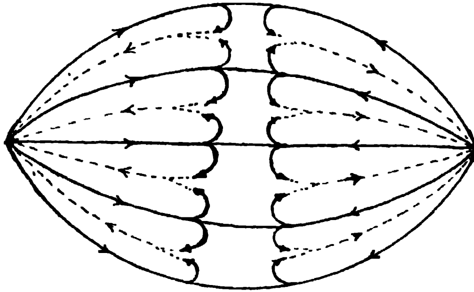
**ডার্লিংটন**-এর (Darlington) মতে, কেবলমাত্র মেরুদ্বয়ের আকর্ষণই নয়, দুহিতা ক্রোমোসোমদুটির সেন্ট্রোমীয়ার এবং দেহাংশ কর্তৃক পর-স্পরকে বিকর্ষণও, তাদের মেরুর দিকে ঠেলে দেয়। এ ব্যাপারে কোন সন্দেহ নেই যে, স্বাভাবিকভাবে মাইটোসিস সম্পন্ন হওয়ার জন্য মেরু অঞ্চল, সেন্ট্রোমীয়ার এবং ক্রোমোসোমদেহে নিহিত বিকর্ষণী-ক্ষমতাগুলি-সহ উপরিউক্ত বিভিন্ন ক্রিয়া-প্রক্রিয়ার সংঘটনকালের (timing) মধ্যে সুষ্ঠু সমন্বয় একান্ত প্রয়োজন।

### ছয়॥ স্ট্রিমিং।

ক্রোমোসোমের বিচলন সম্পর্কে স্ট্রিমিং বা স্রোতের অস্তিত্ব সম্পর্কে সবচেয়ে পূর্ণাঙ্গ হাইপথেসিসটি **স্যেইদি** (Schaede) কর্তৃক প্রবর্তিত হয়। এই মত অনুযায়ী, প্রোমেটাফেজ দশায় মেরু অঞ্চলদুটি থেকে ভিস্‌কাস বা আঠাল দ্রব্যের সূক্ষ্ম স্রোত স্পিন্ড্‌লের ভিতর দিকে প্রবেশ করতে থাকে (৫১ নং চিত্র)। যদিও আলোচ্য রূপ স্রোতের কারণ সম্পর্কে স্যেইদি কোনওপ্রকার আলোচনা করেন নি, তথাপি মেরু অঞ্চলের সক্রিয়-তার পরিপ্রেক্ষিতে এইধরণের ঘটনা ঘটা নিতান্ত অসম্ভব নয়। এই স্রোতগুলি ক্রোমোসোমগুলিকে ঠেলে স্পিন্ড্‌লের মধ্যভাগে নিয়ে যায়, যেখানে দুদিকের স্রোতের মিলনের ফলে একটি তথাকথিত নিরপেক্ষ অঞ্চলের সৃষ্টি হয়। এই অংশে ক্রোমোসোমগুলির চলন বন্ধ হওয়ায় মেটা-ফেজ প্লেটের উদ্ভব হয়।

স্যোইদি-র মতে অ্যানাফেজ বিচলনের আগে স্পিণ্ড্‌লের মধ্যভাগে, অর্থাৎ মেটাফেজ প্লেট অঞ্চলে, সারফেস টেনসনের (surface tension) বৃদ্ধি ঘটে। এর ফলে এই অংশের স্পিণ্ড্‌ল্ উপাদানের (spindle substance) ভিস্‌কসিটি হ্রাস পায় এবং তার পরিণতিস্বরূপ মেরু-দু'টির দিকে, যেখানকার ভিস্‌কসিটি অপেক্ষাকৃত বেশী সেদিকে, স্পিণ্ড্‌ল্ উপাদানের স্রোত বইতে থাকে।

স্যোইদি-র মতে, 'স্পিণ্ড্‌ল্ ফাইবারগুলি' মেরু অঞ্চল থেকে উৎপন্ন ভিস্‌কাস প্রোটোপ্লাজ্‌মের স্রোত। দু'টি ফাইবারের মধ্যবর্তী অঞ্চল দিয়ে অপেক্ষাকৃত অল্প ভিস্‌কাস প্রোটোপ্লাজ্‌মের স্রোত স্পিণ্ড্‌লের মধ্যাঞ্চল থেকে মেরুর দিকে প্রবাহিত হয় (৫১নং চিত্র), যেখানে তার ভিস্‌কসিটি পুনরায় বৃদ্ধি পায়।



৫১ নং চিত্র:—স্পিণ্ড্‌লমধ্যে স্যোইদি কর্তৃক প্রস্তাবিত স্রোতধারা। অভগ্ন রেখা দ্বারা অঙ্কিত স্রোতধারা অধিকতর ভিস্‌কাস এবং মেরু থেকে নিরক্ষীয় অঞ্চলের দিকে প্রবাহিত হয়। ভগ্ন রেখা দ্বারা অঙ্কিত স্রোতধারা অপেক্ষাকৃত অল্প ভিস্‌কাস এবং বিপরীত দিকে প্রবাহিত হয়।

অতএব, প্রোমেটাফেজ্ থেকে টিলোফেজ দশা পর্যন্ত বিপরীতমুখী দু'প্রকার স্রোত প্রবাহিত হতে থাকে—একটি মেরুর দিকে এবং অপরটি তার বিপরীত দিকে। ক্রোমোসোমগুলি সারফেস টেনসনের দ্বারা বিভক্ত হয় এবং এই সারফেস টেনসন ক্রোমোসোমের ঠিক মধ্যবর্তী অঞ্চলে কার্যকরী হয়, যার ফলে দুহিতা ক্রোমোসোমগুলির পরস্পর থেকে বিপরীত দিকে চলা সম্ভব হয়। দু'টি স্পিণ্ড্‌ল্ ফাইবারের মধ্যবর্তী অঞ্চলের অপেক্ষাকৃত অল্প ভিস্‌কাস প্রোটোপ্লাজ্‌মের স্রোতের সঙ্গে দুহিতা ক্রোমোসোমগুলি মেরুর দিকে যায়।

স্রেডার-এর মতে, খুব ছোট ক্রোমোসোমবিশিষ্ট স্বল্প-সংখ্যক কয়েকটি-

মাত্র স্পিসিসেই ঐ প্রক্রিয়ায় ক্রোমোসোমের মেরু অভিমুখে বিচলনের কল্পনাটি বুদ্ধিগ্রাহ্য হতে পারে। কিন্তু, নির্দিষ্টস্থানে অবস্থিত সেন্ট্রো-মীয়ারসম্পন্ন বড়-বড় ক্রোমোসোমগুলিকে নিয়ে পরীক্ষার কালে যে সাক্ষ্য-প্রমাণাদি পাওয়া গেছে, তা' ঐরূপ কৌশলকে সমর্থন করে না। কেননা, ঐসব ক্ষেত্রে স্পিণ্ড্‌ল্‌ ফাইবারগুলিকে ক্রোমোসোমসমূহের দু'ধারে প্রাচীর সৃষ্টি করার পরিবর্তে তাদের সেন্ট্রোমীয়ারের সঙ্গে সুস্পষ্টরূপে যুক্ত থাকতে দেখা যায়। উপরন্তু, ক্রোমোসোমের মেরুর দিকে চলার কালে তার সেন্ট্রোমীয়ারটি সবার পুরোভাগে থাকে। ক্রোমোসোমের মেরুমুখী বিচলন যদি কেবলমাত্র লম্বা-লম্বা কতকগুলি প্রকোষ্ঠে প্রবাহিত স্রোতের উপর নির্ভরশীল হয়, তাহলে সদ্যবর্ণিত ঘটনাগুলির যথাযথ ব্যাখ্যা প্রদান করা সম্ভব হয় না।

মোটকথা, ক্রোমোসোমের বিচলনের ব্যাখ্যা প্রসঙ্গে উপরিউক্ত কোন একটিমাত্র হাইপথেসিস যথাযথ নয়। সেইসাথে একথাও বলা প্র'য়াজন যে, আলোচিত হাইপথেসিসগুলির মধ্যে বেশ কয়েকটি পুরোপুরি সত্য না হ'লেও তাদের আংশিক যাথার্থতা সম্পর্কে কোন সন্দেহ নাই।

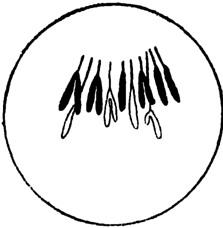
## সাত ॥ **ক্রোমোসোম অটোনমি।**

বিভিন্ন গবেষকের মতে ক্রোমোসোমের বিচলন মূলত 'অটোনমাস' (autonomous)। অর্থাৎ, বিচলনের জন্য প্রয়োজনীয় ক্ষমতা ক্রোমো-সোমগুলির মধ্যেই নিহিত আছে এবং স্পিণ্ড্‌লটি এ-ব্যাপারে একটি সাহায্যকারী অংশ হিসাবে কাজ করে। ক্রোমোসোমের উক্ত ক্ষমতাটি কি ধরণের সে সম্পর্কে বিচার-বিশ্লেষণ করা খুবই অসুবিধাজনক। এ সম্পর্কে **মেজ্‌**-এর (Metz) ধারণাটি এইরকমঃ প্রতিটি ক্রোমোসোমের সক্রিয়তায় তার চারিদিকের পদার্থের ভিস্‌কসিটি ক্রমশ বৃদ্ধি পেতে থাকে। **সোয়ান**-এর (Swann) মতে, সেন্ট্রোমীয়ার থেকে নিঃসৃত কোন পদার্থ ক্রোমোসোমাল ফাইবারের উপাদানসমূহের সজ্জা-রীতির (orientation) পরিবর্তন সাধন করে ক্রোমোসোমের মেরু অভি-মুখে চলনের সূচনা ঘটায়।

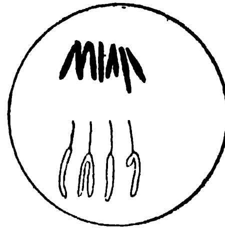
'ক্রোমোসোমাল অটোনমি' হাইপথেসিসের সমর্থনে যেসব সাক্ষ্য-প্রমাণ পাওয়া গেছে তার কয়েকটি নীচে দেওয়া হ'ল। ঐসব ঘটনা ক্রোমোসোম-বিচলনের 'সঙ্কোচন', 'প্রাসারণ', 'স্ট্রিমিং' অথবা 'ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক্‌স্‌' মতকে মোটেই সমর্থন করে না।

'সিয়ারা' (*Sciara*) নামে পতঙ্গে স্পার্মাটোসাইটের প্রথম বিভাজনের

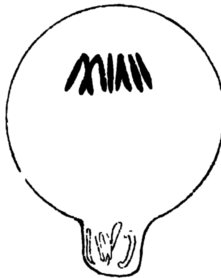
(first spermatocytic division) সময় একটিমাত্র মেরুর সৃষ্টি হয় এবং ক্রোমোসোমগুলি 'বাইভ্যালেণ্ট' গঠন করে না। সবক'টি ইউনিভ্যালেণ্ট ঐ একটিমাত্র মেরুর কাছাকাছি অবস্থান করে। ক্রমে এক প্রস্থ (set) হমলগাস ক্রোমোসোম (পিতার কাছ থেকে পাওয়া প্রস্থটি) দল ছেড়ে মেরুটির বিপরীত দিকে চলতে থাকে এবং অবশিষ্ট ক্রোমোসোমগুলি মেরুটির দিকে অগ্রসর হয়। ক্রোমোসোমের দু'টি গোষ্ঠীর চলনের ক্ষেত্রে বর্তমানস্থলে সবচেয়ে দুর্বোধ্য ব্যাপারটি হচ্ছে, সমস্ত চলনকাল জুড়ে সবক'টি ক্রোমোসোমের সেণ্ট্রোমীয়ারই একমাত্র মেরুটির দিকে ফিরানো থাকে (যদিও অর্ধেকগুলি ক্রোমোসোম মেরুটির বিপরীত দিকে ধাবিত হয়—৫২নং চিত্র)। বাস্তবিকপক্ষে, ক্রোমোসোমাল ফাইবারগুলি মেরুর বিপরীত দিকে চলমান ক্রোমোসোমগুলির চলনে বাধা প্রদান করে বলেই মনে হয়, তৎসত্ত্বেও তাদের বিচলন ঘটে।



(ক)



(খ)



(গ)

৫২ নং চিত্রঃ—সিয়ারা-র প্রথম বিভাজনের নক্সাকার চিত্র। পিতার কাছ থেকে পাওয়া ক্রোমোসোমগুলিকে কেবলমাত্র বাইরের রেখার দ্বারা দেখানো হয়েছে। (ক) অ্যানাফেজের সূচনা; (খ) অ্যানাফেজের শেষ অবস্থা; (গ) টিলোফেজ —পিতার কাছ থেকে পাওয়া ক্রোমোসোমগুলি একটি 'বাড' বা মুকুলের মধ্যে জমা হয়েছে; মুকুলটি পরে পরিত্যক্ত হবে।

'সিয়ারা'-র উক্ত ঘটনাটিকে একটি ব্যতিক্রম হিসাবে দেখা ঠিক হবে না। স্কট (Scott) 'মাইক্রোম্যালথাস' (*Micromalthus*) নামে বীট্‌ল্‌-জাতীয় পতঙ্গেও স্পার্মাটোসাইটের প্রথম বিভাজনের সময় লক্ষ্য করেছেন, হ্যাপ্লয়েড পুরুষের সবক'টি ক্রোমোসোমই একমাত্র (only) মেরুটির বিপরীত দিকে ধাবিত হয়, যদিও তাদের সেণ্ট্রোমীয়ারগুলি মেরুটির দিকে ফিরানো থাকে। স্কটের মতে 'সিয়ারা'-র মত এক্ষেত্রেও ক্রোমোসোমগুলির বিচলন 'অটোনমাস'।

একাইনোডার্মাটা (echinodermata বা কণ্টকত্বকী) এবং আনেলিডা (annelida বা অঙ্গুরীমাল) পর্বভুক্ত কতিপয় প্রাণির উপর পরীক্ষা চালিয়ে 'ক্রোমোসোমাল অটোনমি' হাইপথেসিসের স্বপক্ষে সমর্থন পাওয়া গেছে। একাইনোডার্ম প্রাণিগুলিতে একমাত্র মেরুটির সন্নিকটে অবস্থিত অর্ধভাগ ক্রোমোসোমকে ঝটিতি বাকী অর্ধভাগ থেকে পৃথক্ হতে দেখা যায়। 'ইউরেচিস' (*Urechis*) নামে আনেলিডায় পরীক্ষামূলকভাবে একটিমাত্র মেরুর সৃষ্টি করে দেখা গেছে যে, মেরুর কাছাকাছির দুহিতা ক্রোমোসোম-গুলি একাইনোডার্ম প্রাণিগুলির তুল্য অবস্থার তুলনায় আরও বেশীদূর অগ্রসর হয়। উপরিউক্ত সাক্ষ্য-প্রমাণাদির দ্বারা প্রমাণিত হচ্ছে যে, দুই মেরুসম্পন্ন নিয়মিত স্পিণ্ড্‌লের উপস্থিতি ছাড়াই দুহিতা ক্রোমোসোম-গুলি পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়ে কিছুটা দূর পর্যন্ত যেতে পারে। কিন্তু, পরস্পর থেকে পৃথক্ হওয়ার পর তাদের আরও বিচলনের জন্য মেরু অঞ্চলের কোন একপ্রকার সক্রিয়তা অবশ্যই প্রয়োজন এবং যদি একটিমাত্র মেরুর সহকারী আর একটি মেরু সৃষ্টি করা যায় তাহলে ক্রোমোসোম-গুলির বিচলন সম্পূর্ণ স্বাভাবিক হয়।

সদ্য আলোচিত ঘটনাগুলি থেকে দেখা যাচ্ছে, মাইটোসিসের সময় ক্রোমোসোমগুলির কিছুটা 'অটোনমাস বিচলন' হয়ে থাকে, অর্থাৎ বিচলনের ক্ষেত্রে ক্রোমোসোমগুলি কিছুটা স্বাবলম্বী। কিন্তু সম্পূর্ণ স্বাভাবিক বিচলনের জন্য স্পিণ্ড্‌লের সঙ্গে তাদের কোন না কোন সংযোগ থাকা একান্ত প্রয়োজন।

'ক্রোমোসোমের বিচলন' এবং 'ক্রোমোসোমের বিভাজন' (chromosome duplication) দু'টি সম্পূর্ণ পৃথক্ পৃথক্ প্রক্রিয়া। এটি নিশ্চিতরূপে জানা গেছে যে, শেষোক্ত প্রক্রিয়াটি স্পিণ্ড্‌লের সঙ্গে কোনপ্রকার সম্পর্ক ব্যতিরেকেই ঘটতে পারে। অর্থাৎ, এ-ব্যাপারে ক্রোমোসোমগুলি বাস্তবিকই 'অটোনমাস' বা স্বাবলম্বী। ক্রোমোসোমের বিভাজন সম্পূর্ণ হ'লে দুহিতা ক্রোমোসোমগুলি স্পিণ্ড্‌লের অনুপস্থিতিতেই পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়ে

যেতে পারে। 'কিটোপটেরাস' (*Chaetopterus*) নামে প্রাণিতে পরীক্ষামূলকভাবে দুই মেরুসম্পন্ন স্পিণ্ড্লের আবির্ভাবকে প্রতিহত করে এরূপ ঘটনা ঘটতে দেখা গেছে। এণ্ডোমাইটোসিস-এর (endomitosis) সময়েও এধরণের ঘটনা ঘটে থাকে।

কিন্তু স্বাভাবিক মাইটোসিসের সময় দুহিতা ক্রোমোসোমগুলির পরস্পর থেকে পৃথক্ হওয়ার ঘটনাটি সেণ্ট্রোমীয়ারের সক্রিয়তার শুরু হয়ে থাকে, অর্থাৎ সেণ্ট্রোমেরিক অঞ্চলটিই সর্বপ্রথম পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়। একেও কিছু পরিমাণে 'ক্রোমোসোমাল অটোনমি' বা ক্রোমোসোমের স্বাবলম্বিতা বলা যেতে পারে (যেহেতু সেণ্ট্রোমীয়ার ক্রোমোসোমেরই একটি অংশ)। কোন-কোন ম্যাণ্টিড্-এ (mantid) স্পিণ্ড্লের আবির্ভাবের আগে এধরণের ঘটনা সত্যিসত্যিই ঘটতে দেখা যায়।

কতকগুলি ক্ষেত্রে অবশ্য অ্যানাফেজের গোড়ার দিকে ক্রোমোসোমদেহের তুলনায় সেণ্ট্রোমীয়ারটি মেরুর দিকে এগিয়ে থাকে না। উদাহরণস্বরূপ, 'কর্থিপ্পাস' (*Chorthippus*) নামে ঘাস-ফড়িঙে স্পার্মাটোসাইটের দ্বিতীয় বিভাজনের সময় দুহিতা ক্রোমোসোমগুলি তাদের সেণ্ট্রোমীয়ারগুলিকে অগ্রবর্তী না রেখেই মেরু অবধি দূরত্বের এক-তৃতীয়াংশ অতিক্রম করে। 'আম্ফিউমা' (*Amphiuma*) নামে আম্ফিবিয়া-র (amphibia) তুল্য দশায় দুহিতা ক্রোমোসোমগুলিকে ঐভাবে আরও বেশীদূর অগ্রসর হতে দেখা যায়। এই ঘটনাগুলির দ্বারা ক্রোমোসোমদেহের (chromosome body) অটোনমিও প্রকাশিত হচ্ছে।

**ব্লেইয়ার** (Bleier)-সহ বহু গবেষকের মতে, স্বাভাবিক এবং সুশৃঙ্খল অ্যানাফেজ বিচলন দু'টি ক্রোমোসোমের অথবা দু'টি ক্রোমাটিডের পরস্পর লেগে থাকার (apposition) ঘটনাটির সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত। অ্যানাফেজ দশার ক্রোমোসোমের পৃথক্ হওয়ার প্রাথমিক কারণটি হচ্ছে, এক জোড়া ক্রোমোসোম বা এক জোড়া ক্রোমাটিডের পরস্পরকে বিকর্ষণ (repulsion)। এক্ষেত্রে উল্লেখ করা যেতে পারে, অ্যানাফেজ বিচলনের 'ক্রোমোসোমাল অটোনমি' হাইপথেসিসের সঙ্গে 'ইলেক্ট্রোস্ট্যাটিক্স্' হাইপথেসিসের বিশেষ অমিল নেই।

এতক্ষণ পর্যন্ত যেসব আলোচনা করা হ'ল তার সারাংশ এইরকম: ক্রোমোসমের বিচলনে ক্রোমোসোমগুলি নিজেরা একটি সক্রিয় অংশ গ্রহণ করে। অর্থাৎ, তারা জড়বস্তুর মত কেবলমাত্র বাইরের শক্তির দ্বারাই এদিক-ওদিক চালিত হয় না। কিন্তু, অ্যানাফেজের গোড়ার দিকে তাদের (ক্রোমোসোমগুলির বা ক্রোমাটিডগুলির) পরস্পর থেকে কিছুটা পৃথক্ হওয়ার পরবর্তীকালের বিচলন কোন না কোনভাবে স্পিণ্ড্লের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত।

# ১২ ॥ মায়োসিস
## (Meiosis)

মায়োসিস-কে 'নিষেকের বিপরীতক্রিয়া' (antithesis of fertilization) বলা হয়ে থাকে। **এই প্রক্রিয়ার কোষ বিভাজনে ক্রোমোসোম-সংখ্যা অর্ধেক হ্রাস পায়—ডিপ্লয়েড** (diploid) **কোষ হ্যাপ্লয়েড** (haploid) **কোষে রূপান্তরিত হয়।**

**ডার্লিংটন** (Darlington) মায়োসিস-এর নিম্নরূপ **সংজ্ঞা** দিয়েছেনঃ—"মায়োসিস প্রক্রিয়ায় নিউক্লিয়সের দু'বার বিভাজন (division) হয়, কিন্তু সেইসময়ে ক্রোমোসোমের বিভাজন ঘটে মাত্র একবার।" বহুকোষী প্রাণী (metazoa) এবং উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদে গ্যামিট (gamete) সৃষ্টির প্রাক্কালে মায়োসিস হয়ে থাকে, কিন্তু, কিছু শৈবাল (algae) ও ছত্রাকে (fungi) গ্যামিটগুলির মিলনের পর, অর্থাৎ নিষেক-এর (fertilization) পর এটা ঘটে থাকে।

১৯০৫ সালে **জে. বি. ফার্মার** এবং **জে. ই. মুর** (J. B. Farmer and J. E. Moore) এই বিশেষধরণের কোষ-বিভাজনকে বোঝানোর জন্য 'মায়োসিস' শব্দটির প্রচলন করেন। তবে এই প্রকারের কোষ-বিভাজনের প্রথম উল্লেখ করেন **স্ট্র্যাসবার্জার**, ১৮৮৮ সালে। তিনি উদ্ভিদে গ্যামিট সৃষ্টির সময় উপরিউক্ত রূপ কোষ-বিভাজন ঘটতে দেখেন। **ডব্লিউ. এস. সাটন** (W. S. Sutton) ১৯০২ সালে এইপ্রকার কোষ-বিভাজনের গুরুত্ব কি, তার উল্লেখ করেন। (এ সম্পর্কে এই অধ্যায়ের পরবর্তী এক স্থানে আলোচনা করা হয়েছে)।

### মায়োটিক চক্র
### (Meiotic cycle)

আগেই বলা হয়েছে, 'মায়োসিস'-এ নিউক্লিয়সটি দু'বার বিভক্ত হয়। তারা যথাক্রমে **প্রথম মায়োটিক বিভাজন** ও **দ্বিতীয় মায়োটিক বিভাজন** রূপে পরিচিত। প্রথম বিভাজনের সময় একটি ডিপ্লয়েড কোষ থেকে দু'টি হ্যাপ্লয়েড কোষের সৃষ্টি হয়, অর্থাৎ, নতুন কোষগুলিতে ক্রোমোসোম-সংখ্যা জন্মদাতা কোষের অর্ধেক হয়ে থাকে। সেইকারণে একে 'রিডাক্শানাল বিভাজন'-ও (reductional division) বলা হয়। দ্বিতীয় বিভাজনের সময় প্রথম বিভাজনের দ্বারা সৃষ্ট কোষদু'টি সাধারণ মাই-

টোটিক প্রক্রিয়ায় বিভক্ত হয়ে থাকে। ফলে মোট ৪টি কোষের সৃষ্টি হয়। দ্বিতীয় বিভাজনের ফলে উৎপাদিত প্রতি জোড়া কোষের ক্রোমোসোম সংখ্যাগত এবং গুণগত দিক থেকে পরস্পরের সমান হয়। এইকারণে দ্বিতীয় বিভাজনকে 'ইকোয়েশানাল বিভাজন'-ও (equational division) বলা হয়ে থাকে।

## প্রথম মায়োটিক বিভাজন

বিবরণ দানের সুবিধার জন্য এইপ্রকার বিভাজনকেও মাইটোসিস-এর মত চারটি দশায় (stages) ভাগ করা হয়ে থাকে। ঐ দশাগুলি হচ্ছে, **প্রথম প্রোফেজ** (prophase I), **প্রথম মেটাফেজ** (metaphase I), **প্রথম অ্যানা-ফেজ** (anaphase I) এবং **প্রথম টিলোফেজ** (telophase I)। প্রথম প্রোফেজ ও প্রথম মেটাফেজ দশার মধ্যবর্তী সময়ে একটি অতি সংক্ষিপ্ত-কাল-স্থায়ী **প্রিমেটাফেজ** (premetaphase) দশা দেখা যায়।

**প্রথম প্রোফেজ** (*Prophase I*)ঃ

প্রথম মায়োটিক বিভাজনের প্রোফেজ দশাটি বেশ দীর্ঘকাল স্থায়ী হয় এবং অপেক্ষাকৃত সরল ধরণের মাইটোটিক প্রোফেজের সঙ্গে এর অনেক প্রভেদ দেখা যায়। এই দশায় নিউক্লিয়সের ভিতর ক্রোমোসোমগুলিকে ঘিরে অনেক ঘটনা ঘটে। ঐ ঘটনাগুলির বর্ণনাদানের সুবিধার্থে এই দশাটিকে কয়েকটি অনু-দশায় (sub-stages) বিভক্ত করা হয়ে থাকে। পর্যায়ক্রমে ঐ দশাগুলি হচ্ছে, **লেপ্টোটিন** (leptotene), **জাইগোটিন** (zygotene), **প্যাকিটিন** (pachytene), **ডিপ্লোটিন** (diplotene) ও **ডায়াকাইনেসিস** (diakinesis)।

মায়োসিসের পূর্ববর্তী ইণ্টারফেজ (interphase) দশায় ক্রোমোসোম-গুলিতে মাইটোসিস-পূর্ববর্তী ইণ্টারফেজ দশার মত **রেলিক কয়েল্** (relic coils বা স্মারক্ কুণ্ডলী) দেখা যায়। ইন্টারফেজ দশায় ক্রোমো-সোমগুলির কোন বিচলন (movement) চোখে পড়ে না, কিন্তু প্রথম প্রোফেজ দশায় তাদের নানাপ্রকার বিচলন দৃষ্টিগোচর হয়। মায়োটিক প্রোফেজ দশার আর একটি উল্লেখযোগ্য ঘটনা হচ্ছে, সন্দেহাতীতরূপে নিউক্লিয়সের আয়তনের বৃদ্ধিলাভ। নিউক্লিয়সের এই বর্ধিত আয়তনের কারণ হচ্ছে, হাইড্রেশান (hydration বা জলযোজন)। এই হাই-ড্রেশান মাইটোসিস-এর সময়কার হাইড্রেশানের তুলনায় কয়েকগুণ বেশী।

**লেপ্টোটিন** (*Leptotene*)ঃ

লেপ্টোটিন দশায় ক্রোমোসোমগুলি ডিপ্লয়েড (diploid) সংখ্যায়

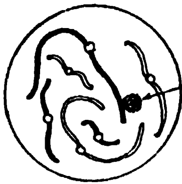
থাকে এবং খুব লম্বা ও কয়েল্‌বিহীন (uncoilde) হয়। ক্রোমোসোমগুলি লম্বা হওয়ার দরুণ তাদের পৃথক্‌-পৃথক্‌ভাবে চেনা যায় না (৫৩ নং চিত্র)। ধীরে-ধীরে তারা কয়েল্‌ড্‌ (coiled) বা কুণ্ডলীকৃত হতে আরম্ভ করে। খুব আঁটসাঁট (tight) কয়েল্‌গুলি, তাঁদের ঘনত্বের (density) জন্য, সুস্পষ্ট গ্র্যানিউল-এর (granules) বা দানার মত দেখায়—তাদের **ক্রোমোমীয়ার** (chromomere) বলা হয়। এই মায়োটিক কয়েল্‌গুলি হচ্ছে **মেজর কয়েল্‌** (major coils) [একাদশ অধ্যায় দ্রষ্টব্য]।

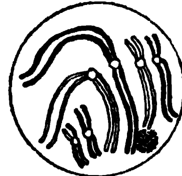
লেপ্টোটিন দশায় ক্রোমোসোমগুলি বিভক্ত না অবিভক্ত অবস্থায় থাকে, তা একটি বিতর্কমূলক বিষয়। কোন-কোন প্রকার কোষে লেপ্টোটিন দশাতেই 'ডি.এন.এ-র সিন্থেসিস' (DNA synthesis) এবং ক্রোমোসোমের ডুপ্লিকেশান (duplication বা প্রতিরূপ সৃষ্টি) ঘটে থাকে, আবার কোন-কোন ধরণের কোষে প্রথম প্রোফেজের অন্য কোন এক অনু-দশায় (sub-stage) ঐ ঘটনাগুলি ঘটে। তবে অধিকাংশ প্রকার কোষে জাইগোটিন (zygotene) দশা শেষ হওয়ার আগেই ক্রোমোসোমের ডুপ্লিকেশানের কাজ শেষ হয়ে যায়। প্রতিটি ক্রোমোসোমের ক্রোমাটিডদু'টি (chromatids) সেন্ট্রোমীয়ার-অঞ্চলে পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত থাকে।

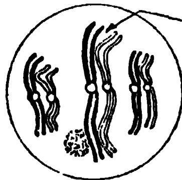
এই দশায় নিউক্লিওলসটিকে (nucleolus) খুব স্পষ্টরূপে দেখা যায়। অবশ্য কোন-কোন প্রকার কোষে লেপ্টোটিনের শুরুতে নিউক্লিলসটি অপেক্ষাকৃত ছোট থাকে এবং এই দশার অগ্রগতির সাথে-সাথে তার বৃদ্ধি ঘটতে থাকে। এই বর্ধনক্রিয়া জাইগোটিন দশা অবধি চলে। বায়োকেমিক্যাল বা জৈব-রাসায়নিক পরীক্ষার দ্বারা জানা গেছে যে, প্রথম প্রোফেজ দশার প্রথম-লগ্নে (initial stage) নিউক্লিয়সের ভিতর অধিকমাত্রায় আর.এন.এ. সিন্থেসিস (RNA synthesis) ঘটে থাকে। এই ঘটনা থেকে নিউক্লিওলসের বৃদ্ধির কারণটি বুঝতে পারা যায়।

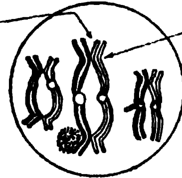
**জাইগোটিন** (*Zygotene*)ঃ

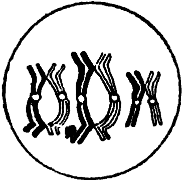
এই দশার সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য ও গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা হচ্ছে হমলগাস (homologous বা সমসংস্থ) ক্রোমোসোমগুলির সাইনাপসিস (synapsis বা যুগলমিলন)। সাধারণত যেকোন হমলগাস ক্রোমোসোম-জোড়ার দু'টি সাথীর মধ্যে নিখুঁত সাইনাপসিস ঘটে। অর্থাৎ, একটি সাথীর প্রতিটি অংশের সঙ্গে অপর সাথীর প্রতিটি অংশের সাইনাপসিস হয় (৫৩ নং চিত্র)। এই সাইনাপসিস নানাভাবে হতে পারে। এই ক্রিয়াটি

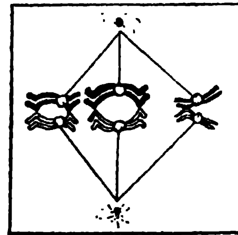


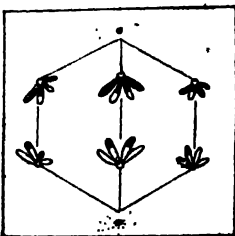



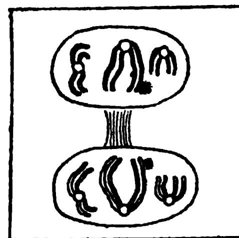




৫৩ নং চিত্রঃ—প্রথম মায়োটিক বিভাজনের বিভিন্ন দশার নক্সাকার চিত্র (সরলীকৃত)।

ক্রোমোসোমগুলির প্রান্তদু'টি থেকে শুরু হয়ে ক্রমান্বয়ে সেন্ট্রোমীয়ারের দিকে অগ্রসর হতে পারে, সেক্ষেত্রে একে **প্রোটার্মিনাল সাইনাপসিস** (proterminal synapsis) বলা হয়। অথবা ক্রিয়াটি সেন্ট্রোমীয়ার অঞ্চল থেকে শুরু হয়ে ক্রমান্বয়ে প্রান্তদু'টির দিকে অগ্রসর হতে পারে, তখন একে **প্রোসেন্ট্রিক সাইনাপসিস** (procentric synapsis) বলা হয়। আবার কখনও-কখনও এটি এলোমেলো ভাবে ঘটে থাকে। ছোট ক্রোমোসোমগুলির তুলনায় বড় ক্রোমোসোমগুলির সাইনাপসিস সম্পূর্ণ হতে সময় বেশী লাগে। অধিকাংশ কোষেই প্যাকিটিন দশা শেষ হবার আগেই সবক'টি ক্রোমোসোমের সাইনপসিস সম্পূর্ণ হয়ে যায়। সাইনাপসিস-প্রাপ্ত বা যুগলমিলনবদ্ধ প্রতি জোড়া হমলগাস ক্রোমোসোমকে **বাইভ্যালেন্ট্** (bivalent) বলা হয়। প্রতিটি বাইভ্যালেন্ট্-এ চারটি করে ক্রোমাটিড থাকার দরুণ তাদের অনেক সময়ে **টেট্রাড্**-ও (tetrad) বলা হয়ে থাকে।

লেপ্টোটিন দশায় ক্রোমোসোমগুলির যে কয়েল্‌প্রাপ্তি শুরু হয় তা এই দশাতেও অব্যাহত থাকে। এর ফলে ক্রোমোসোমগুলির উল্লেখযোগ্য ঘনীভবন (condensation) ঘটে। প্রতিটি ক্রোমাটিডের মেজর কয়েলের ব্যাস বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হওয়ায় ক্রোমোসোমগুলি দৈর্ঘ্যে ছোট কিন্তু আকারে মোটা হতে থাকে। মাইটোসিসের মেজর কয়েলের তুলনায় এই মেজর কয়েল্‌গুলি অনেক বড় হয়। এইসময়ে ক্রোমোসোমদেহে মেজর কয়েল্‌গুলি ছাড়াও দেখা যায় যে ক্রোমাটিডগুলি পরস্পরকে জড়িয়ে আছে; শুধু তাই নয়, প্রতিটি বাইভ্যালেন্ট্-এর সাথীদু'টিও পরস্পরকে জড়িয়ে থাকে। হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির এই অ্যাসোসিয়েশান (association) বা সম্মিলনকে বলা হয় **প্যারানেমিক কয়েলিং** (paranemic coiling) [একাদশ অধ্যায় দ্রষ্টব্য]।

**প্যাকিটিন** (*Pachytene*) ঃ

এই দশায় ক্রোমোসোমগুলি আরও ছোট ও মোটা হয়। এর কারণ, আগের দশার তুলনায় এই দশায় মেজর কয়েল্‌গুলির ব্যাস আরও বৃদ্ধি পায়। তদুপরি, ক্রোমোসোমদেহে এইসময়ে আর একধরণের কয়েলের আবির্ভাব ঘটে—সেগুলি হচ্ছে **মাইনর কয়েল্** (minor coils)। [একাদশ অধ্যায় দ্রষ্টব্য]। হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির প্যারোনেমিক কয়েল্‌ও বজায় থাকে। নিউক্লিয়সের ভিতর অনেকগুলি বাইভ্যালেন্ট্ থাকলে এইসময় থেকে তাদের পৃথক্-পৃথক্‌ভাবে সনাক্ত করা সম্ভব হয়। প্রোফেজের শুরু থেকে ক্রোমোসোমগুলির বাইরের রেখাটি (outlines)

লোমশ (woolly) দেখায়। সেই লোমশভাব এই দশাতেও অপরিবর্তিত থাকে।

যদিও ঠিক কোন্ সময়ে **ক্রসিং ওভার** (crossing over) ঘটে তা এখনও নিশ্চিতরূপে জানা যায় নি, তথাপি এরূপ অনুমান করা হয় যে এই ঘটনা প্যাকিটিন দশাতেই ঘটে থাকে। যে আকর্ষণী-শক্তি (force of attraction) হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির সাইনাপসিস ঘটিয়ে তাদের কাছে-কাছে রাখে, এই দশায় সেই আকর্ষণী-শক্তির পরিবর্তে একটি বিকর্ষণী-শক্তির (force of repulsion) আবির্ভাব ঘটে। ফলে, প্রতিটি বাইভ্যালেন্টের সাথীদুটি পরস্পর থেকে পৃথক্ হতে আরম্ভ করে। কিন্তু, তা সত্ত্বেও এক বা একাধিক স্থলে দেখা যায় যে তারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে আছে। এই সংযোগস্থলগুলিকে অনেকটা ইংরাজী বর্ণমালার X (এক্স্) অক্ষরের মত দেখায়। এই X-সদৃশ অংশগুলিকে **কায়াস্মা**১ (chiasma) বলা হয়। কায়াস্মা সৃষ্টি হওয়ার মূলে থাকে **ক্রসিং ওভার**, অর্থাৎ, ভগিনীসদৃশ নয় এমন দুটি ক্রোমাটিডের বা **নন্-সিস্টার ক্রোমাটিড**২-এর (non-sister chromatid) মধ্যে দেহখণ্ডের বিনিময় (৫৩ নং চিত্র)।

একটি বাইভ্যালেটন্টে কায়াস্মার সংখ্যা তার দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। ছোট-ছোট ক্রোমোসোমে সাধারণত একটি এবং বড়-বড় ক্রোমোসোমে একাধিক কায়াস্মা গঠিত হয়। বাস্তবিকপক্ষে, একটি কায়াস্মা তার কাছাকাছি জায়গায় আর একটি কায়াস্মা গঠনে বাধা সৃষ্টি করে—একে **কায়াস্মা ইন্টারফিয়ারেন্স** (chiasma interference) বলা হয়। সেণ্ট্রোমীয়ারের একদিকের কায়াস্মা তার অপরদিকে কায়াস্মা সৃষ্টিতে সচরাচর 'ইণ্টারফিয়ারেন্স' বা বাধা সৃষ্টি করে না।

**ডিপ্লোটিন** (*Diplotene*) ঃ

এই দশায় প্রতিটি বাইভ্যালেণ্টের সাথীদুটি কায়াস্মা-অঞ্চল ছাড়া অন্যান্য স্থানে পরস্পর থেকে অধিকমাত্রায় সরে যাওয়ায় কায়াস্মাগুলি অনায়াসে

১ ইংরাজীতে বহুবচনে 'কায়াস্মাটা' (chiasmata) এবং একবচনে 'কায়াস্মা' (chiasma) লেখা হয়।

২ যেকোন একটি ক্রোমোসোমের ক্রোমাটিডদুটিকে 'ভগিনীসদৃশ ক্রোমাটিড' বা 'সিস্টার ক্রোমাটিড' (sister chromatid) বলা হয়। অপরপক্ষে, বাইভ্যালেন্টগুলির কোন একটি ক্রোমোসোমের ক্রোমাটিডগুলি অপর ক্রোমোসোমের ক্রোমাটিডগুলির ভগিনীসদৃশ নয়, অর্থাৎ, তারা 'নন্-সিস্টার ক্রোমাটিড'।

চোখে পড়ে (৫৩ নং চিত্র)। ক্রোসোমগুলি আরও অধিকমাত্রায় কয়েল্‌ড্‌ হওয়ায় তাদের ঘনীভবনেরও (condensation) বৃদ্ধি ঘটে। হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির মধ্যে বিকর্ষণের (repulsion) ফলে কায়াস্‌মাগুলির **টার্মিনালাইজেশান** (terminalization) বা প্রান্তের দিকে সরে যাওয়া শুরু হয়। এই দশাতেও ক্রোমোসোমগুলির বাইরের রেখাটি লোমশ থাকে।

**ডায়াকাইনেসিস** (*Diakinesis*) :

এই দশায় বাইভ্যালেণ্ট্‌গুলি নিউক্লিয়সের পরিধির দিকে সরে যায় এবং পরস্পর থেকে বেশ দূরে-দূরে থাকে। ক্রোমোসোমের কয়েল্‌গুলি আরও আঁটসাঁট (tight) হওয়ার ফলে ক্রোমোসোমগুলি আগের তুলনায় অনেক ছোট ও মোটা দেখায়। তাদের লোমশভাবটিও এই দশায় খানিকটা দূরীভূত হয়। টার্মিনালাইজেশান প্রক্রিয়া চলতে থাকার ফলে কতিপয় কায়াস্‌মা বাইভ্যালেণ্ট্‌গুলির প্রান্তসীমায় পৌঁছিয়ে যায়। নিউক্লিওলসটির ধীরে-ধীরে অবলুপ্তি ঘটতে থাকে (৫৩ নং চিত্র) এবং এই দশার শেষে সেটি সম্পূর্ণরূপে অদৃশ্য হয়ে যায়।

**প্রোমেটাফেজ** (*Prometaphase*) :

এই দশায় নিউক্লিয়ার মেমব্রেনটি ধ্বংসপ্রাপ্ত হয় এবং স্পিণ্ড্‌ল্‌-এর আবির্ভাব ঘটে। [ স্পিণ্ড্‌লের গঠন সম্পর্কে একাদশ অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে বলে এখানে আর নতুন করে আলোচনা করা হবে না ]। বাইভ্যালেণ্ট্‌গুলি স্পিণ্ড্‌লের নিরক্ষরেখার (equator) দিকে ধাবিত হয় এবং তাদের সেণ্ট্রোমীয়ার দিয়ে স্পিণ্ড্‌ল্‌ ফাইবারের সঙ্গে যুক্ত হয়।

**প্রথম মেটাফেজ** (*Metaphase I*) :

এই দশায় বাইভ্যালেণ্ট্‌গুলি স্পিণ্ড্‌লের নিরক্ষীয়-অঞ্চলে অবস্থান করে। কিন্তু তাদের বিন্যাস (arrangement) মাইটোটিক মেটাফেজ থেকে সম্পূর্ণ ভিন্নধরণের হয়ে থাকে। প্রতিটি বাইভ্যালেণ্টের সেণ্ট্রোমীয়ারদু'টি সঠিক নিরক্ষরেখায় না থেকে ঐ রেখার দু'ধারে, রেখাটি থেকে সমদূরত্বে, অবস্থান করে এবং বাহুগুলি নিরক্ষরেখার দিকে থাকে (৫৩ নং চিত্র)।

এই দশায় ক্রোমোসোমগুলি ঘনীভবনের (condensation) চরমসীমায় পৌঁছায় এবং তাদের বাইরের রেখাগুলি (outlines) মসৃণ দেখায়। সেণ্ট্রোমীয়ারগুলি অবিভক্ত সেণ্ট্রোমীয়ারের মত আচরণ করলেও তারা বস্তুতপক্ষে দু'টি অংশে বিভক্ত থাকে।

**প্রথম অ্যানাফেজ** (*Anaphase I*) :

অ্যানাফেজ দশায় প্রতিটি বাইভ্যালেণ্টের সাথীদু'টি স্পিণ্ড্‌লের দুই বিপরীত মেরুর দিকে ধাবিত হয়। এই বিচলনের (movement) সময় সেণ্ট্রোমীয়ারগুলি চলে আগে-আগে এবং তারাই ক্রোমোসোমের বাহু-গুলকে টেনে নিয়ে যেতে থাকে (৫৩ নং চিত্র)। এর ফলে কায়াস্‌মাগুলির টার্মিনালাইজেশান সম্পূর্ণ হয় এবং তাদের অস্তিত্বের সম্পূর্ণ বিলোপ ঘটে। প্রতিটি ক্রোমোসোমের ক্রোমাটিডদু'টি, সেণ্ট্রোমীয়ার ব্যতীত অন্যান্য অঞ্চল-গুলিতে, পরস্পর থেকে দূরে সরে থাকে; স্পষ্টতই কোন বিকর্ষণী-শক্তি এর মূলে কাজ করে।

অ্যানাফেজ দশার পরিণাম হচ্ছে, ক্রোমোসোম-সংখ্যার অর্ধেক হ্রাস, অর্থাৎ ডিপ্লয়েড সংখ্যার হ্যাপ্লয়েড সংখ্যায় পরিবর্তন। মাইটোসিস-এর সঙ্গে প্রথম মায়োটিক বিভাজনের এটিই হচ্ছে মূল পার্থক্য।

একথাটি মনে রাখতে হবে যে, জাইগোটিন দশায় যে মেটারন্যাল (maternal বা মাতৃসম্পর্কীয়) এবং পেটারন্যাল (paternal বা পিতৃ-সম্পর্কীয়) ক্রোমোসোমগুলির ভিতর সাইনাপসিস ঘটে এবং প্রথম অ্যানাফেজ দশার শেষে যে ক্রোমোসোমগুলি পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হয়, তাদের গঠনে হুবহু মিল থাকে না। কেননা, তারা ইতিমধ্যে 'ক্রসিং ওভার'-এর দ্বারা দেহাংশ বিনিময় করেছে। সুতরাং, অ্যানাফেজ দশায় যে ক্রোমোসোমগুলি পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হয়, তারা মাতা ও পিতার কাছ থেকে পাওয়া ক্রোমোসোমের নতুন কম্বিনেশান (combination বা সংযোগ)।

**প্রথম টিলোফেজ** (*Tilophase I*) :

মাইটোসিসের টিলোফেজের সঙ্গে মায়োসিসের টিলোফেজের কার্যত কোন প্রভেদ নেই। ক্রোমোসোমগুলির কয়েল্ বা কুণ্ডলী খুলে যাওয়ার ফলে তাদের দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি ঘটে। মেরুদেশের প্রতিটি ক্রোমোসোম-গোষ্ঠীকে ঘিরে নতুন নিউক্লিয়ার মেমব্রেন সৃষ্টি হয় এবং নিউক্লিওলসের পুনরাবির্ভাব ঘটে (৫৩ নং চিত্র)।

এই দশার শেষে সাইটোকাইনেসিস (cytokinesis) ঘটতেও পারে, আবার নাও ঘটতে পারে। ফলে, প্রথম মায়োটিক বিভাজনের দ্বারা দু'টি অপত্য কোষ (daughter cells) অথবা দু'টি অপত্য নিউক্লিয়স-এর (daughter nuclei) সৃষ্টি হয়। শেষোক্ত ক্ষেত্রে দ্বিতীয় মায়োটিক বিভাজনের শেষে নিউক্লিয়সদু'টির মধ্যবর্তীস্থলে প্লাজ্‌মা মেমব্রেনের সৃষ্টি হবে।

## দ্বিতীয় মায়োটিক বিভাজন

**দ্বিতীয় প্রোফেজ** (*Prophase II*) :

দ্বিতীয় প্রোফেজ দশার স্থিতিকাল (duration) প্রথম প্রোফেজ দশার তুলনায় অনেক কম এবং প্রথম প্রোফেজ দশার চেয়ে এই দশার কার্যক্রম অনেক সরল।

এই দশার নিউক্লিয়সটির, নিম্নলিখিত কয়েকটি পার্থক্য ছাড়া, মাইটোটিক প্রোফেজের নিউক্লিয়সের সঙ্গে অনেক মিল দেখা যায়ঃ ক্রোমাটিড-এর বাহুগুলি পরস্পর থেকে দূরে থাকে এবং স্বভাবতই তারা পরস্পরকে জড়িয়ে থাকে না (৫৪ নং চিত্র); প্রথম মায়োটিক বিভাজনের কিছু কয়েল্ ক্রোমোসোমদেহে বিদ্যমান থাকে। প্রথম টিলোফেজ ও ইন্টারফেজ দশায় যদি কিছু কয়েল্ খুলে গিয়ে থাকে, তাহলে দ্বিতীয় প্রোফেজ দশায় পুনরায় কয়েল্-এর সৃষ্টি হতে দেখা যায়; সুতরাং, ক্রোমোসোমগুলি আবার আকারে ছোট হতে থাকে। এই দশার শেষে নিউক্লিওলস ও নিউক্লিয়ার মেমব্রেনের বিনাশ এবং স্পিন্ড্লের আবির্ভাব ঘটে।

**দ্বিতীয় মেটাফেজ** (*Metaphase II*) :

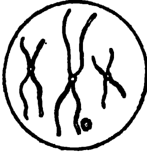
এই দশা খুবই স্বল্পস্থায়ী। স্পিন্ডলের নিরক্ষরেখায় ক্রোমোসোমগুলির বিন্যাস মাইটোটিক মেটাফেজের বিন্যাসের মত—সেন্ট্রোমীয়ারগুলি নিরক্ষরেখার উপর অবস্থিত থাকে এবং বাহুগুলি দুই মেরুর দিকে প্রসারিত থাকে (৫৪ নং চিত্র)। এই দশার শেষে সেন্ট্রোমীয়ারগুলির বিভাজন সব দিক থেকে সম্পূর্ণ হয়—ফলে প্রতিটি ক্রোমাটিড তার নিজস্ব সেন্ট্রোমীয়ার লাভ করে।

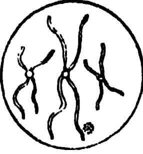
**দ্বিতীয় অ্যানাফেজ** (*Anaphase II*) :

এই দশায় অপত্য ক্রোমোসোমগুলি (daughter chromosomes) অর্থাৎ, পূর্ববর্তী দশার ক্রোমাটিডগুলি, বিপরীত মেরুর দিকে ধাবিত হয় (৫৪ নং চিত্র)।

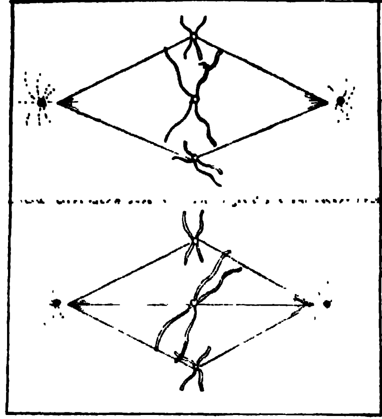
**দ্বিতীয় টিলোফেজ** (*Tilophase II*) :

এই দশায় ক্রোমোসোমগুলির কয়েল বা কুণ্ডলী খুলতে আরম্ভ করে। নিউক্লিওলসের পুনরাবির্ভাব ঘটে এবং প্রতিটি ক্রোমোসোম-গোষ্ঠীকে ঘিরে নতুন নিউক্লিয়ার মেমব্রেন গঠিত হয় (৫৪ নং চিত্র)।

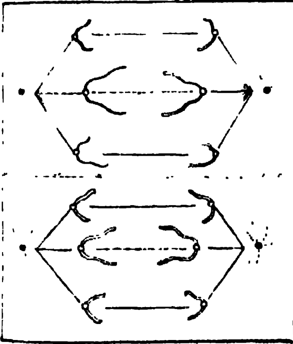




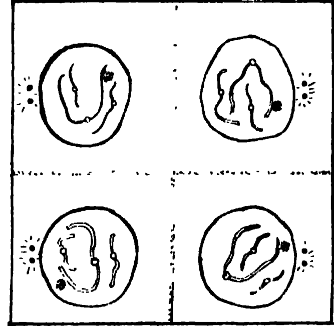
দ্বিতীয় প্রোফেজ্



দ্বিতীয় মেটাফেজ



দ্বিতীয় অ্যানাফেজ



দ্বিতীয় টেলোফেজ

৫৪ নং চিত্রঃ—দ্বিতীয় মায়োটিক বিভাজনের বিভিন্ন দশার নক্সাকার চিত্র (সরলীকৃত)।

পরিশেষে সাইটোকাইনেসিস-এর দ্বারা চারটি অপত্য নিউক্লিয়স পরস্পর থেকে সম্পূর্ণরূপে পৃথক্ হয়ে যায়। অতএব, মায়োসিসের ফলে একটি ডিপ্লয়েড কোষ থেকে চারটি হ্যাপ্লয়েড কোষের সৃষ্টি হয়।

## মায়োসিসের জটিল প্রশ্নাবলী
## (Problems of meiosis)

**সাইনাপসিস-এর কারণ কি?**

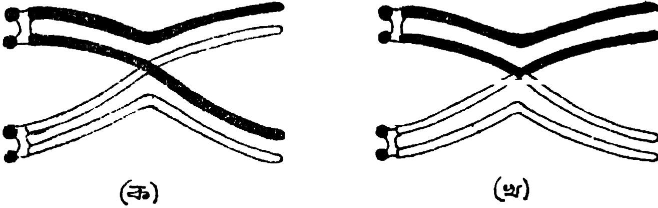
মায়োটিক প্রোফেজ দশায় কোন্ কৌশলে (mechanism) হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির সাইনাপসিস বা যুগলমিলন ঘটে, তার উপযুক্ত ব্যাখ্যা এখনও পর্যন্ত পাওয়া যায় নি। প্রোফেজের প্রথম-লগ্নে (initial stage) হমলগাস ক্রোমোসোমগুলি পরস্পর থেকে যথেষ্ট দূরে অবস্থান ক'রে, অথচ জাইগোটিন দশা শেষ হবার আগেই তারা পরস্পরের গায়ে-গায়ে লেগে বিরাজ করে। নিউক্লিয়সের বিভিন্ন অঞ্চল থেকে হমলগাস ক্রোমোসোমগুলিকে পরস্পরের কাছাকাছি টেনে আনার জন্য যে শক্তি কাজ করে, তাকে ব্যাখ্যা করার নিমিত্ত বেশ কয়েকটি মতবাদের অবতারণা হয়েছে বটে, কিন্তু এই মতবাদগুলির সবক'টিই কাল্পনিক; তাদের সমর্থনে সাক্ষ্য-প্রমাণের একান্ত অভাব। তবে, এই মতবাদগুলির মধ্যে যেটি অধিক যুক্তিগ্রাহ্য বলে মনে হয় [**মুলার**-এর (Muller) মতবাদ], সেটি হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির মধ্যে একটি সুনির্দিষ্ট আকর্ষণী-শক্তির অস্তিত্ব কল্পনা করে। এই আকর্ষণী-শক্তির মূলে ক্রোমোসোমগুলির সহজাত (inherent) ভাইব্রেশানাল ফ্রীকোয়েন্সি-কে (vibrational frequency বা কম্পাঙ্ক) কল্পনা করা হয় এবং বিভিন্ন অংশের ঐ ফ্রীকোয়েন্সি সম্ভবত ভিন্ন-ভিন্ন হয়। সম-ভাইব্রেশানাল ফ্রীকোয়েন্সিবিশিষ্ট অংশগুলি পরস্পরকে আকর্ষণ করে, ফলে দু'টি একইপ্রকারের ক্রোমোসোম পরস্পরের কাছে আসে। এই ভাইব্রেশানাল ফ্রীকোয়েন্সি ক্রোমোসোমের রাসায়নিক উপাদান-গুলির ভিতরকার ভ্যান ডার ওয়াল-এর শক্তির (Van der Waals' force) তুল্য।

**কায়াস্মা সৃষ্টিঃ**

মায়োসিসের প্রথম প্রোফেজ দশায় কায়াস্মা-র সৃষ্টি হয়। এই কায়াস্মার উদ্ভব সম্পর্কে দু'টি মতবাদ আছেঃ— (১) **ক্লাসিকাল মতবাদ** (Classical theory) ও (২) **কায়াস্মাটাইপ মতবাদ** (Chiasma-type theory)।

প্রথম মতবাদের প্রবর্তক **স্যাক্স্** (Sax)। এই মতবাদ অনুযায়ী, ডিপ্লোটিন দশায় ক্রোমাটিডগুলি পরস্পরকে দূরে ঠেলে দেওয়ার (repel) ফলেই কায়াস্মার উদ্ভব হয়। অর্থাৎ, এই মতবাদ অনুযায়ী, কায়াস্মার

আবির্ভাবের পূর্বে ক্রোমাটিডগুলি খণ্ডিত হয় না এবং চারটি ক্রোমাটিডই অপরিবর্তিত থাকে। এই অবস্থায় একটি মেটারন্যাল (maternal) ক্রোমাটিড একটি পেটারন্যাল (paternal) ক্রোমাটিডের উপর আড়াআড়ি-ভাবে অবস্থান করে। ফলে, কায়াস্‌মার এক পাশে একটি মেটারন্যাল ক্রোমাটিড অপর একটি মেটারন্যাল ক্রোমাটিডের সঙ্গে এবং একটি পেটার-ন্যাল ক্রোমাটিড অপর একটি পেটারন্যাল ক্রোমাটিডের সঙ্গে জোড় বেঁধে থাকে। কিন্তু, কায়াস্‌মার অপর পাশে একটি পেটারন্যাল ক্রোমাটিড একটি মেটারন্যালের সঙ্গে এবং একটি মেটারন্যাল ক্রোমাটিড একটি পেটার-ন্যালের সঙ্গে জোড় বেঁধে থাকে (৫৫ক নং চিত্র)।




৫৫ নং চিত্রঃ—(ক) ক্লাসিকাল মতবাদ অনুযায়ী কায়াস্‌মার সৃষ্টি। (খ) কায়াস্‌মাটাইপ মতবাদ অনুযায়ী কায়াস্‌মার সৃষ্টি।

দ্বিতীয় মতবাদ, অর্থাৎ কায়াস্‌মাটাইপ মতবাদ-এর প্রবর্তন করেন **জান্‌সেন** (Janssen) ও **ডার্লিংটন** (Darlington)। এই মতবাদ অনুযায়ী, দুটি হমলগাস ক্রোমাটিডের খণ্ডিত হওয়া (breakage) এবং তাদের পুনর্মিলনের (reunion) ফলে কায়াস্‌মার সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে কায়াস্‌মার প্রতি পাশেই একটি পেটারন্যাল ক্রোমাটিড অপর একটি পেটার-ন্যাল ক্রোমাটিডের সঙ্গে এবং একটি মেটারন্যাল ক্রোমাটিড অপর একটি মেটারন্যাল ক্রোমাটিডের সঙ্গে জোড় বেঁধে অবস্থান করে (৫৫খ নং চিত্র)। প্রথম মতবাদ অনুযায়ী, কায়াস্‌মা সৃষ্টির পরে 'জেনেটিক ক্রসিং ওভার' (genetic crossing over) হয়। অপরপক্ষে, দ্বিতীয় মতবাদ অনুযায়ী, কায়াস্‌মা সৃষ্টির আগেই 'জেনেটিক ক্রসিং ওভার' ঘটে। বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে বর্তমানে বোঝা গেছে যে, দ্বিতীয় মতবাদটিই নির্ভুল এবং প্রথমটি ঠিক নয়।

**ক্রসিং ওভার-এর কৌশল** (*Mechanism of crossing over*) **:**

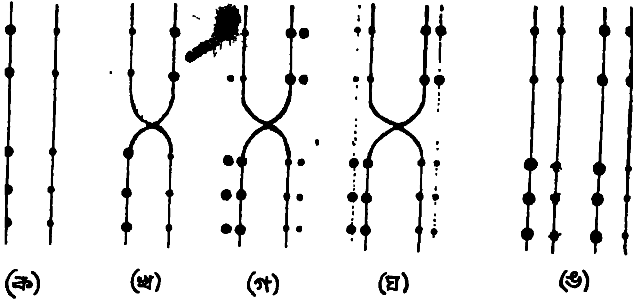
ক্রসিং ওভার-এর কৌশল সম্পর্কে দু'টি মতবাদ আছে :—(১) **স্যাক্স**-এর (Sax) **ক্লাসিকাল** মতবাদ এবং (২) **বেলিং**-এর **কপি-চয়েস** মতবাদ (copy-choice theory)।

'ক্লাসিকাল মতবাদ' অনুযায়ী, কায়াস্মা সৃষ্টির ফলেই ক্রসিং ওভার ঘটে থাকে। এই মতবাদ অনুযায়ী, ডিপ্লোটিন দশায় ক্রোমাটিড-গুলির পারস্পরিক বিকর্ষণের (repulsion) দরুণ কায়াস্মাস্থলগুলিতে যে স্ট্রেন-এর (strain বা টান) সৃষ্টি হয় তার ফলে উক্ত স্থানগুলিতে ক্রোমাটিড দু'টি ভেঙ্গে যায় এবং এর পর একটি ক্রোমাটিডের ভাঙ্গা প্রান্ত অপর একটি নন্-সিস্টার (non-sister) ক্রোমাটিডের ভাঙ্গা প্রান্তের সঙ্গে সংযুক্ত হয়ে ক্রসিং ওভার ঘটে থাকে। আগেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, ক্লাসিকাল মতবাদ ভ্রান্ত বলে পরিগণিত হয়েছে। কেননা, এ-জিনিসটি সুস্পষ্টভাবে প্রমাণিত হয়েছে যে, **কায়াস্মা সৃষ্টির আগেই ক্রসিং ওভার ঘটে।**

'কপি-চয়েস মতবাদ' অনুযায়ী, ক্রোমোসোমের ডুপ্লিকেশান-এর (duplication) সময়ে ক্রসিং ওভার ঘটে থাকে। প্রথম প্রোফেজ দশার গোড়ার দিকে যুগলবদ্ধ (paired) ক্রোমোসোমগুলি তাদের 'জেনেটিক অংশসমূহের' (genetic parts) ডুপ্লিকেশান বা প্রতিরূপ-সৃষ্টি করতে থাকে। ঐ অংশ-সমূহের সংযোগকারী ফাইবারগুলি কোন-কোন স্থলে একটি ক্রোমাটিডের জেনেটিক অংশসমূহকে আর একটি ক্রোমাটিডের জেনেটিক অংশসমূহের সঙ্গে যুক্ত করতে পারে (৫৬ ঘ নং চিত্র) এবং পরিণামে ক্রসিং ওভার ঘটতে পারে।

কপি-চয়েস মতবাদের একটি অসুবিধা হচ্ছে, এই মতবাদ অনুযায়ী দু'টি নতুন তৈরী ক্রোমাটিডের মধ্যে ক্রসিং ওভার ঘটে থাকে এবং মূল ক্রোমাটিড-গুলি অপরিবর্তিত থাকে। কিন্তু, যেসব বাইভ্যালেণ্ট্-এ একাধিক কায়াস্মা সৃষ্টি হয় তাদের মধ্যে ৩টি অথবা ৪টি ক্রোমাটিডকেও কায়াস্মা সৃষ্টিতে লিপ্ত থাকতে দেখা যায়।

এই মতবাদের বিপক্ষে আর একটি আপত্তি ক্রোমোসোমের ডুপ্লিকেশানের সময়কে নিয়ে। কপি-চয়েস মতবাদ অনুযায়ী, মায়োসিস শুরুর পর ক্রোমোসোমের ডুপ্লিকেশান হওয়া প্রয়োজন, কিন্তু বিভিন্ন সাক্ষ্য-প্রমাণাদি ইঙ্গিত করে যে উচ্চ-শ্রেণীর জীবে এই ক্রিয়া আরও আগেই (ইণ্টারফেজ দশায়) ঘটে থাকে।




৫৬ নং চিত্র ঃ—কপি-চয়েস্ মতবাদ অনুযায়ী ক্রসিং ওভারের বিভিন্ন ধাপ। (ক) মূল ক্রোমোসোম দু'টি; (খ) ক্রোমোসোম দু'টি পরস্পরকে জড়িয়ে আছে; (গ) ক্রোমোসোম দু'টির ডুপ্লিকেশান; (ঘ) সংযোগকারী ফাইবার সৃষ্টির জেনেটিক অংশসমূহের কালে ক্রসিং ওভার ঘটেছে; (ঙ) ক্রসিং ওভারের পর চারটি ক্রোমাটিড।

ক্রসিং ওভারের কৌশল হিসাবে নানা মতবাদ প্রবর্তিত হ'লেও, পরীক্ষালব্ধ ফলের দ্বারা সেগুলির কোনটিই যথাযথ বলে বিবেচিত হয় নি।

## মায়োসিসের গুরুত্ব
## (Significance of meiosis)

১। যৌন বংশবিস্তারের ক্ষমতাসম্পন্ন জীবে হ্যাপ্লয়েড গ্যামিট (gamete) সৃষ্টির মাধ্যমে মায়োসিস এক জনন (generation) থেকে পরবর্তী জননে ক্রোমোসোমের সংখ্যাকে কন্স্ট্যাণ্ট্ (constant) বা ধ্রুবক রাখতে সাহায্য করে।

২। মায়োসিসের সময়ে পেটারন্যাল ও মেটারন্যাল ক্রোমোসোমগুলির যথেচ্ছ পৃথগ্ভবনের (random segregation) ফলে, এবং কায়াস্মা সৃষ্টি ও ক্রসিং ওভারের দ্বারা জীন-এর (gene) নতুন কম্বিনেশান (combination বা সমবায়) গঠনের মাধ্যমে, মায়োসিস জেনেটিক ভ্যারিয়েশান্স্ (genetic variations বা জেনেটিক প্রকরণ) সৃষ্টির একটি প্রক্রিয়া হিসাবে কাজ করে। আবার, এই জেনেটিক ভ্যারিয়েশান সৃষ্টির দ্বারা একটি জীব-সংখ্যার (population) ইভলিউশানারি পোটেন্শ্যাল-এর (evolutionary potential বা অভিব্যক্তিসংক্রান্ত বিভব) বৃদ্ধি ঘটে।

৩। মেণ্ডেল-এর হেরিডিটি বা বংশগতি-সংক্রান্ত মূল নীতিগুলির (দ্বিতীয় খণ্ডের দ্বিতীয় অধ্যায় দ্রষ্টব্য) সাইটোলজিক্যাল ব্যাখ্যা (cytological explanation) মায়োটিক চক্র থেকে লাভ করা যায়।

## মায়োসিসের প্ররোচক কারণসমূহ
(Inducing factors)

কি কারণে কোষের মায়োটিক বিভাজন ঘটে থাকে তা' এখনও সঠিকভাবে জানা না গেলেও, এটা নিশ্চিতরূপে বলা যেতে পারে যে একটি বিশেষ কোষের মাইটোটিক আচরণ ত্যাগ করে মায়োটিক আচরণ গ্রহণের জন্য তার ভিতর ফিজিওলজিক্যাল (physiological বা শারীরবৃত্তীয়) কোন পরিবর্তন অত্যাবশ্যকীয়। যেসকল ঘটনাকে মায়োটিক বিভাজনের কারণ হিসাবে ভাবা হয়ে থাকে তাদের একটি হচ্ছে,

১। যেসব কোষে মায়োটিক বিভাজন ঘটে তাদের সন্নিহিত সোমাটিক টিস্যু থেকে মায়োসিস শুরুর প্ররোচনাদানকারী কোন রাসায়নিক পদার্থের সৃষ্টি। এই সোমাটিক টিস্যুগুলি হচ্ছে, প্রাণিদের সেমিনিফেরাস টিউবিউলগুলির (seminiferous tubules), উদ্ভিদের স্ত্রীরেণু মাতৃকোষ (megaspore mother cells) প্রভৃতির চারিপাশের সোমাটিক টিস্যুসমূহ। যদিও উক্ত রাসায়নিক পদার্থটির স্বরূপ কি তা জানা যায় নি, তথাপি সেটি কোন একটি বা একাধিক হর্মোন (hormone) হওয়ার সম্ভাবনাই সমধিক। বাস্তবিকপক্ষে, একটি পরজীবী ফ্লাজিলেট প্রোটোজোয়ায় (parasitic flagellate protozoa) 'এক্‌ডাইসোন' (ecdysone) নামে একটি হর্মোন-এর প্রয়োগে, যে হর্মোন পতঙ্গে মোল্টিং (moulting বা নির্মোচন) ঘটিয়ে থাকে, মায়োসিস শুরু হতে দেখা গেছে।

২। মায়োসিসের কারণস্বরূপ দ্বিতীয় প্রস্তাবটি (proposal), আর.এন.এ এবং ডি.এন.এ.-র অনুপাত (ratio) সম্পর্কিত। এই প্রস্তাব অনুযায়ী, কোষে আর.এন.এ.-র অনুপাত ডি.এন.এ.-র তুলনায় বেশী হলে কোষের মাইটোটিক বিভাজন হবে এবং এই অনুপাত কম হ'লে মায়োসিস ঘটবে। কতিপয় উদ্ভিদের মায়োটিক পোটেন্‌শ্যালযুক্ত (with meiotic potential) কোষে আর.এন.এ. ও ডি.এন.এ.-র শেষোক্ত অনুপাত পরিলক্ষিত হয়েছে।

পরিণত জীবে মায়োসিসের মূলে যে ফিজিওলজিক্যাল (physiological) কারণই থাকুক না কেন, কোন্-কোন্ কোষে এইধরণের বিভাজন ঘটবে তা' ভ্রূণের ডেভেলপ্‌মেণ্ট্ বা পরিবর্ধনকালেই (during development) স্থির হয়ে যায়। অর্থাৎ, ভ্রূণের কোন্-কোন্ কোষ ভবিষ্যতে স্পার্মাটোগোনিয়া (spermatogonia), উগোনিয়া (oogonia), পুংরেণু-মাতৃকোষ ও স্ত্রীরেণু-মাতৃকোষ-এ (microspore- and megaspore-mother cells) পরিণত হবে তা' আগে থেকেই নির্ধারিত হয়ে যায়। পরিশেষে একথা স্মরণ রাখতে হবে যে, যেকোন প্রকার কোষ-বিভাজনই জীন-এর দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

## মাইটোসিস ও মায়োসিসের তুলনামূলক আলোচনা

| মাইটোসিস | মায়োসিস |
|---|---|
| ১। দেহের সকলপ্রকার কোষেই যথা, সোমাটিক কোষে এবং জার্ম কোষে (germ cells) মাইটোসিস ঘটে থাকে। অবশ্য জার্ম কোষ-গুলি থেকে গ্যামিট (gamete) সৃষ্টির সময়ে তাদের মধ্যে এধরণের বিভাজন হয় না। | ১। মায়োসিস সর্বদাই গোনাড-এর (gonad) জার্ম কোষগুলিতে ঘটে থাকে, বিশেষ করে গ্যামিট সৃষ্টির সময়ে। |
| ২। সমস্ত প্রক্রিয়াটি একটি ধাপে সম্পূর্ণ হয়। এই প্রক্রিয়ায় প্রতিটি মাতৃকোষ থেকে কেবলমাত্র দুটি অপত্য কোষ বা নিউক্লিয়স-এর সৃষ্টি হয়। | ২। সমস্ত প্রক্রিয়াটি দুটি ধাপে সম্পূর্ণ হয়ে থাকে এবং প্রতিটি মাতৃকোষ থেকে চারটি অপত্য কোষ বা নিউক্লিয়স-এর সৃষ্টি হয়। |
| ৩। অপত্য কোষগুলির ক্রোমো-সোম-সংখ্যা মাতৃকোষের ঐ সংখ্যার সমান হয়ে থাকে। | ৩। অপত্য কোষগুলির ক্রোমো-সোম-সংখ্যা মাতৃকোষের ঐ সংখ্যার ঠিক অর্ধেক হয়ে থাকে। |
| ৪। অপত্য কোষসমূহে ক্রোমো-সোমগুলির জীন-এর কম্বিনেশান (combination of genes) মাতৃ-কোষের ক্রোমোসোমগুলির অনু-রূপ থাকে। | ৪। ক্রসিং ওভার-এর ফলে অপত্য কোষসমূহের ক্রোমোসোম-গুলিতে জীন-এর নতুন কম্বিনেশান গঠিত হয়। |
| ৫। **প্রোফেজ ঃ** | ৫। **প্রোফেজ ঃ** |
| (ক) এই দশাটি মায়োসিসের তুল্য-দশার তুলনায় স্বল্পস্থায়ী। | (ক) মায়োসিসের এই দশাটি দীর্ঘকাল স্থায়ী হয়। |
| (খ) এই দশার আগমন একবারই ঘটে থাকে এবং একে কোন অনু-দশায় (sub-stages) ভাগ করা হয় না। | (খ) দুবার প্রোফেজ দশার আগমন ঘটে, যথা, প্রথম ও দ্বিতীয় প্রোফেজ দশা। প্রথম প্রোফেজ দশাটি দীর্ঘস্থায়ী হয় এবং তাকে পাঁচটি অনুদশায় ভাগ করা হয়ে থাকে, যথা, লেপ্টোটিন, জাইগোটিন, প্যাকিটিন, ডিপ্লোটিন ও ডায়াকাইনেসিস। |

| মাইটোসিস | মায়োসিস |
| --- | --- |
| (গ) নিউক্লিয়সের আয়তনের উল্লেখযোগ্য বৃদ্ধি ঘটে না। | (গ) নিউক্লিয়সের আয়তন উল্লেখযোগ্য রূপে বৃদ্ধি পায়। |
| (ঘ) এই দশার শুরুতেই প্রতিটি ক্রোমোসোমকে দু'টি করে ক্রোমাটিডে বিভক্ত থাকতে দেখা যায়। | (ঘ) মায়োসিসে এই দশার শুরুতে ক্রোমোসোমগুলি অবিভক্ত থাকে, কিন্তু পরে বিভক্ত হয়। |
| (ঙ) হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির সাইনাপসিস ঘটে না। কেবলমাত্র ড্রসোফিলার ক্ষেত্রে সোমাটিক ক্রোমোসোমগুলি জোড়ায়-জোড়ায় অবস্থিত থাকে। | (ঙ) হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির সাইনাপসিস ঘটে। |
| (চ) কায়াস্‌মা সৃষ্টি হয় না এবং ক্রসিং ওভার-ও ঘটে না। | (চ) প্যাকিটিন দশায় ক্রসিং ওভার পদ্ধতির দ্বারা হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির মধ্যে ক্রোমাটিডখণ্ডের বিনিময় ঘটে। এইরূপ ক্রসিং ওভারের ফলেই কায়াস্‌মা সৃষ্টি হয়ে থাকে। |
| (ছ) ক্রোমোসোমের কয়েল্‌গুলি খুব স্পষ্টরূপে দৃষ্টিগোচর হয় না। | (ছ) কয়েল্‌গুলি খুব স্পষ্টরূপে প্রতিভাত হয়। |
| (জ) এই দশার অন্তিম-লগ্নে নিউক্লিয়ার মেমব্রেন এবং নিউক্লিওলসের অবলুপ্তি ঘটে। | (জ) মাইটোসিসের মতই। |
| **৬। প্রোমেটাফেজ:** | **৬। প্রোমেটাফেজ:** |
| এইসময়ে স্পিন্ড্‌লের আবির্ভাব ঘটে। | মাইটোসিসের মতই। |
| **৭। মেটাফেজ:** একবারই এই দশার আগমন ঘটে। | **৭। মেটাফেজ:** দু'বার এই দশার আগমন ঘটে থাকে। |
| (ক) সেন্ট্রোমীয়ারটি সঠিক নিরক্ষরেখায় (equator) অবস্থান করে এবং ক্রোমোসোমের বাহুগুলি মেরুর দিকে প্রসারিত থাকে। | (ক) প্রথম বারে সেন্ট্রোমীয়ারগুলি সঠিক নিরক্ষরেখায় না থেকে মেরুদু'টির দিকে সামান্য এগিয়ে থাকে এবং বাহুগুলি নিরক্ষরেখার দিকে প্রসারিত থাকে। দ্বিতীয় মেটাফেজ দশাটি মাইটোসিসের অনুরূপ। |

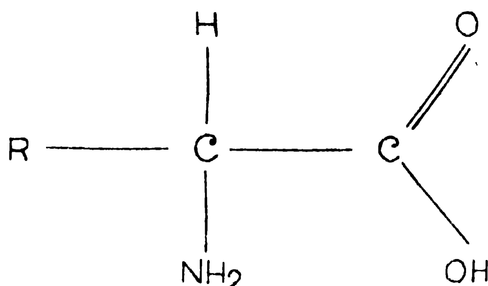
| মাইটোসিস | মায়োসিস |
|---|---|
| (খ) এই দশায় প্রতিটি ক্রোমোসোমের সেন্ট্রোমীয়ার দু'টি খণ্ডে বিভক্ত হয় এবং এই দশার শেষে খণ্ডদু'টি পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়ে যায়। | (খ) প্রথম বারে সেন্ট্রোমীয়ারগুলি দু'টি করে খণ্ডে বিভক্ত হ'লেও তারা পরস্পর থেকে পৃথক্ হয়ে যায় না। |
| ৮। **অ্যানাফেজ**ঃ মাত্র একবার এই দশার আগমন ঘটে। | ৮। **অ্যানাফেজ**ঃ দু'বার এই দশার আগমন ঘটে। |
| (ক) এই দশায় ক্রোমোসোমগুলি মায়োসিসের তুল্য-দশার তুলনায় লম্বা ও সরু হয়ে থাকে। | (ক) প্রথমবারে ক্রোমোসোমগুলি আকারে খুব ছোট ও মোটা হয়ে থাকে। দ্বিতীয়বার তাদের আকার মাইটোসিসের মত হয়। |
| (খ) হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির প্রত্যেকটিরই একটি করে অংশ প্রতি মেরুর দিকে ধাবিত হয়। | (খ) প্রথমবারে হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির যেকোন একটি সভ্য প্রতি মেরুর দিকে ধাবিত হয়। দ্বিতীয়বার তাদের আচরণ মাইটোসিসের মত হয়ে থাকে। |
| (গ) জেনেটিক কম্পোজিশানের (genetic composition) দিক থেকে মূল (original) ক্রোমোসোমগুলির সঙ্গে অপত্য ক্রোমোসোমগুলির কোন প্রভেদ থাকে না। | (গ) অপত্য ক্রোমোসোমগুলির জেনেটিক কম্পোজিশান মূল ক্রোমোসোমগুলির তুলনায় ভিন্ন হয়ে থাকে। |
| ৯। **টিলোফেজ**ঃ মাত্র একবার এই দশার আগমন ঘটে। এই দশায় প্রতিটি অপত্য নিউক্লিয়সে ক্রোমোসোমের সংখ্যা মূল নিউক্লিয়সের অনুরূপ থাকে। | ৯। **টিলোফেজ**ঃ দু'বার এই দশার আগমন ঘটে। প্রতিটি অপত্য নিউক্লিয়সে ক্রোমোসোমের সংখ্যা মূল নিউক্লিয়সের ক্রোমোসোম-সংখ্যার অর্ধেক হয়ে থাকে। |
| ১০। **সাইটোকাইনেসিস**ঃ প্রতিবার বিভাজনের শেষে সাইটোকাইনেসিস হয়। | ১০। **সাইটোকাইনেসিস**ঃ প্রথমবারের টিলোফেজ দশার শেষে সাইটোকাইনেসিস নাও হতে পারে। |

# ১৩ ॥ কোষ রসায়ন

দ্বিতীয় অধ্যায়ে প্রোটোপ্লাজ্‌মের রাসায়নিক উপাদান সম্পর্কে কিছু আলোচনা করা হয়েছে। এই অধ্যায়ে প্রোটোপ্লাজ্‌মের প্রধান প্রধান রাসায়নিক উপাংশগুলির (components) গঠন (structure) সম্পর্কে আলোচনা করা হবে।

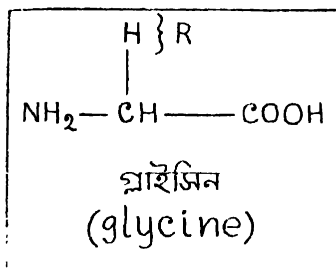
### প্রোটীন

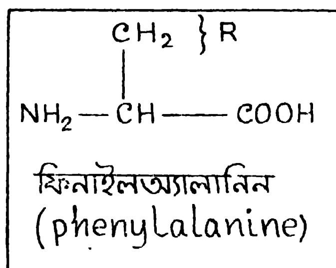
প্রোটীন-এর গঠন খুব জটিল ধরণের এবং তাদের মলিকিউলার ওয়েট্-ও (molecular weight বা আণবিক গুরুত্ব) অত্যধিক। ঐ মলিকিউলার ওয়েট্ $১০^৩$ থেকে $১০^৬$-এর মধ্যে হয়ে থাকে, তবে ঐ ওয়েটের গড় $৩·৫×১০^৪$-এর কাছাকাছি। প্রোটীনগুলি **অ্যামিনো অ্যাসিড** (amino acids) দ্বারা গঠিত, এবং অ্যামিনো অ্যাসিডগুলির মুখ্য উপাদান হচ্ছে, **কার্বন**, **হাইড্রোজেন**, **অক্সিজেন** ও **নাইট্রোজেন**। যেকোন অ্যামিনো অ্যাসিডের কেমিক্যাল কম্পোজিশান (chemical composition বা রাসায়নিক সংযুতি) নিম্নরূপঃ—

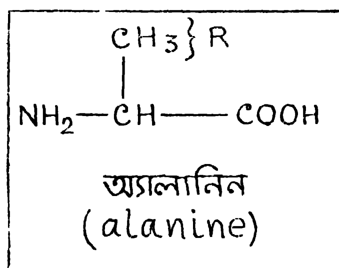


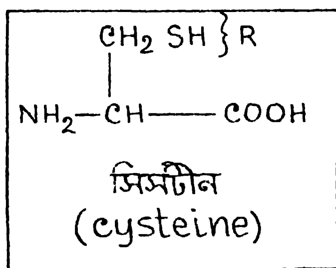

উক্ত কেমিক্যাল কম্পোজিশানের $—NH_2$ শ্রেণীটিকে **অ্যামিনো শ্রেণী** (amino group) এবং —COOH শ্রেণীটিকে **কার্বক্সিল শ্রেণী** (carboxyl group) বলা হয়। R শ্রেণীটি নানা প্রকারের হতে পারে। প্রকৃতপক্ষে, ২৫টি বিভিন্ন প্রকারের R শ্রেণীর অস্তিত্ব এই প্রকৃতিতে (nature) আছে এবং তার ফলে ২৫টি বিভিন্ন ধরণের অ্যামিনো অ্যাসিডেরও অস্তিত্ব

রয়েছে। উদাহারণস্বরূপ নীচে কয়েকটি অ্যাসিডের ফর্মূলা (formula বা সংকেত) দেওয়া হলঃ—



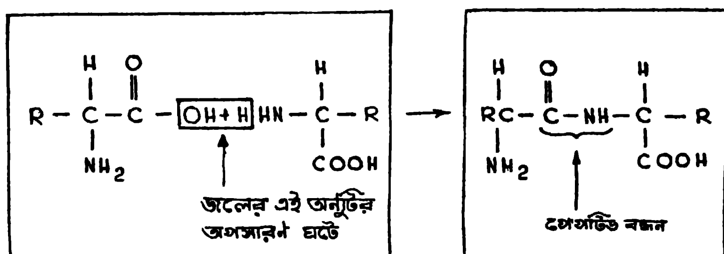




অ্যামিনো অ্যাসিডসমূহ শৃংখলাবদ্ধ (linked) হয়ে এক একটি প্রোটীন-এর সৃষ্টি করে। প্রোটীনটি কি প্রকারের হবে তা নির্ভর করে কোন্-কোন্ প্রকার অ্যামিনো অ্যাসিড দ্বারা সেটি গঠিত তার উপর এবং ঐ অ্যামিনো অ্যাসিডগুলির সংখ্যা ও সজ্জা-ক্রমের (order of arrangement) উপর। ২০টি বিভিন্ন প্রকারের অ্যামিনো অ্যাসিডের কথা আমাদের জানা আছে (পরের পৃষ্ঠায় তাদের তালিকা দেওয়া হ'ল)। তাদের প্রত্যেকটি প্রতি প্রকার প্রোটীনে থাকে না; আবার, কোন-কোনপ্রকার প্রোটীনে এক-একটি অ্যামিনো অ্যাসিডের অনেকগুলি অণু (molecule) উপস্থিত থাকতে পারে।

## অ্যামিনো অ্যাসিডসমূহ

অ্যালানিন (Alanine)
আর্গাইনিন (Arginine)
অ্যাস্পারাগিন (Asparagine)
অ্যাস্পারটিক অ্যাসিড (Aspartic acid)
সিসটীন (Cysteine)
গ্লুটামিক অ্যাসিড (Glutamic acid)
লিউসিন (Leucine)
মেথিয়োনিন (Methionine)
লাইসিন (Lysine)
ফিনাইলঅ্যালানিন (Phenylalanine)
প্রোলিন (Proline)
সেরিন (Serine)
গ্লুটামিন (Glutamine)
গ্লাইসিন (Glycine)
হিস্টিডিন (Histidine)
আইসোলিউসিন (Isoleucine)
থ্রেওনিন (Threonine)
ট্রিপ্টোফ্যান (Tryptophan)
টাইরোসিন (Tyrosine)
ভ্যালিন (Valine)

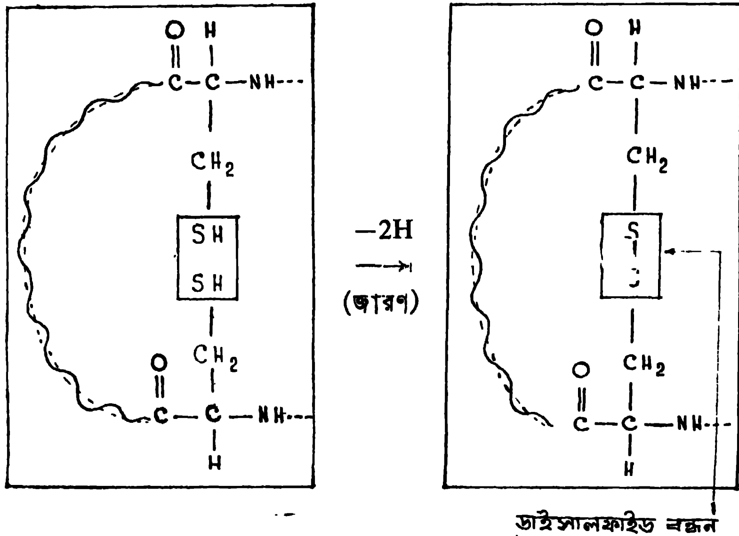
প্রোটীন অণুতে অ্যামিনো অ্যাসিডগুলি তাদের অ্যামিনো শ্রেণী (—$NH_2$) ও কার্বক্সিল শ্রেণীর (—COOH) মাধ্যমে পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত থাকে। এই প্রক্রিয়ায় জল-এর ($H_2O$) একটি অণু অপসারিত হয় (৫৭ নং চিত্র)। দু'টি অ্যামিনো অ্যাসিডের মধ্যে এরূপ সংযুক্তিকে




৫৭ নং চিত্র:—পেপটিড বন্ধনের গঠন।

(—CO—NH) **পেপটিড বন্ধন** (peptide bond) বলা হয় [ ৫৭ নং চিত্র ]। যদি কেবলমাত্র দু'টি অ্যামিনো অ্যাসিড এইরূপ পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত থাকে, তাহলে তাদের সংযুক্তিতে সৃষ্ট কম্পাউন্ডটি (compound বা যৌগ) **ডাইপেপটিড** (dipeptide) নামে পরিচিত হয়। একই পদ্ধতিতে

তিনটি অ্যামিনো অ্যাসিড যুক্ত থাকলে **ট্রাইপেপটিড** (tripeptide) এবং অনেকগুলি অ্যামিনো অ্যাসিড যুক্ত থাকলে কম্পাউন্ড্‌টিকে **পলিপেপটিড** (polypeptide) বলা হয়। যেকোন প্রোটীন-এর লম্বা, পলিপেপটিড শৃঙ্খলগুলি (polypeptide chains) নানাভাবে ভাঁজ খেয়ে অদ্ভুত আকৃতি (configuration) গ্রহণ করতে পারে এবং অনেক ক্ষেত্রেই অতিরিক্ত আড়াআড়ি-সংযোগ (cross links) ভাঁজ-খাওয়া শৃঙ্খলটিকে দৃঢ়তা দান করে। এইরূপ আড়াআড়ি সংযোগের অধিকাংশ ক্ষেত্রেই সিসটীন (cysteine) নামে সালফার (sulphur)-যুক্ত অ্যামিনো অ্যাসিডটি মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। যখন দু'টি সালফাইড্রিল শ্রেণী (sulphydryl groups —SH) পরস্পরের কাছাকাছি থাকে তখন তারা অক্সিডেশান (oxidation বা জারণ) প্রক্রিয়ার দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে যেতে পারে এবং এইভাবে ভাঁজ-খাওয়া পলিপেপটিডটি দৃঢ়তা লাভ করতে পারে (৫৮ নং চিত্র)। S—S




৫৮ নং চিত্র :—একটি পলিপেপটিড ডাইসালফাইড বন্ধনের সৃষ্টি।

সংযোগটিকে **ডাইসালফাইড বন্ধন** (disulphide bond) বলা হয়। যেসকল পদার্থ সালফার-কে (S) —SH-এ রিডিউস (reduce বা বিজারিত) করতে পারে তাদের দ্বারা উক্ত ডাইসালফাইড বন্ধন ছিন্ন হয়। দুই অথবা ততোধিক পলিপেপটিডকে যুক্ত করার জন্যও S—S সংযোগের বিশেষ গুরুত্ব আছে।

কোষের ভিতর প্রোটীন-এর গুরুত্ব সর্বাধিক। কেননা, কোষস্থ সমুদয় এনজাইম-ই (enzymes) হচ্ছে প্রোটীন এবং ঐ এনজাইমগুলির মাধ্যমেই জীনগুলি (genes) তাদের কর্ম সম্পাদন করে।

একটি প্রোটীন অপর আর একটি বস্তুর সঙ্গে সংযুক্ত থাকলে তাকে **কন্‌জুগেটেড প্রোটীন** (conjugated protein) বলা হয়। উদাহারণস্বরূপ, **নিউক্লিওপ্রোটীন** (nucleoprotein), **লাইপোপ্রোটীন** (lipoprotein) ও **ক্রোমোপ্রোটীন**-এর (chromoprotein) নাম উল্লেখ করা যেতে পারে। কন্‌জুগেটেড প্রোটীনে প্রোটীনের সঙ্গে সংযুক্ত বস্তুটি অর্গ্যানিক (organic) বা জৈব পদার্থ হলে ঐ পদার্থটিকে বলা হয় **প্রস্থেটিক শ্রেণী** (prosthetic group) [যথা, 'নিউক্লিওপ্রোটীন'-এ নিউক্লীক অ্যাসিডটি (nucleic acid)] এবং সেটি কোন ইন্‌অর্গ্যানিক (inorganic) বা অজৈব পদার্থ হলে সেটি **কোফ্যাক্‌টর** (cofactor) নামে পরিচিত হয় [যথা, 'হিমোগ্লোবিন'-এ (যা প্রোটীন ও লৌহের সমন্বয়ে গঠিত) 'লৌহ'-টি]।

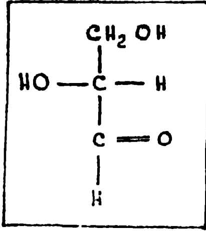
## কার্বোহাইড্রেট

কার্বোহাইড্রেটগুলি কোষকে তার প্রয়োজনীয় 'শক্তি' (energy) প্রদান করে। কোষকে শক্তি সরবরাহ করা ছাড়াও কোষের কাঠামো রচনাতেও, বিশেষ করে উদ্ভিদ্‌কোষের কাঠামো রচনাতে তাদের একটি ভূমিকা আছে।

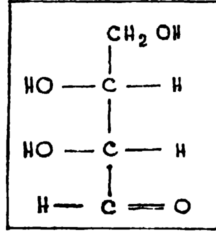
কার্বোহাইড্রেটগুলি **কার্বন, হাইড্রোজেন** ও **অক্সিজেন** দ্বারা গঠিত এবং হাইড্রোজেন-এর পরিমাণ সর্বদাই অক্সিজেন-এর দ্বিগুণ হয়ে থাকে। সবচেয়ে সরল আকারের (form) কার্বোহাইড্রেট হচ্ছে, **মনোস্যাখারাইড** (monosaccharide)—এদের মধ্যে ২—১০টি কার্বন-পরমাণু (carbon atoms) থাকে। গ্লুকোজ (glucose) বা দ্রাক্ষা-শর্করা একটি অতি সুপরিচিত মনোস্যাখারাইড। দু'টি মনোস্যাখারাইড সংযুক্ত হ'লে একটি **ডাইস্যাখারাইড**-এর (disaccharide) সৃষ্টি হয়। সাক্রোজ (sucrose) বা ইক্ষু-শর্করা ডাইস্যাখারাইড-এর একটি উদাহরণ। **পলিস্যাখারাইডগুলি** (polysaccharides) দুইয়ের অধিক মনোস্যাখারাইড-এর সংযোগে সৃষ্টি হয়ে থাকে।

কোন মনোস্যাখারাইড-এ তিনটি কার্বন-এর পরমাণু (atom) থাকলে তাকে 'ট্রায়োজ' (triose), চারটি পরমাণু থাকলে 'টেট্রোজ' (tetrose), পাঁচটি থাকলে 'পেন্টোজ' (pentose) এবং ছয়টি পরমাণু থাকলে 'হেক্সোজ' (hexose) বলা হয়। রাইবোজ (ribose) ও ডিঅক্সিরাইবোজ (deoxyribose) নামে পেন্টোজ শর্করাদু'টির (sugars) ফিজিওলজিক্যাল গুরুত্ব (physiological importance) অপরিসীম, কেননা, তারা দু'টি গুরুত্বপূর্ণ

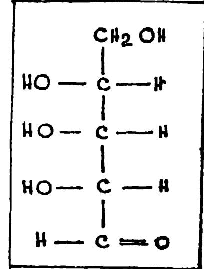
বায়োলজিক্যাল অণুর (biological molecule), ডি.এন.এ. (DNA) এবং আর.এন.এ.-র (RNA) গঠনে অংশগ্রহণ করে। উক্ত শর্করাদুটির গঠন-সংকেত (structural formula) ৫৯ নং চিত্রে দেওয়া হয়েছে। ডিঅক্সি-রাইবোজ শর্করার সঙ্গে রাইবোজ শর্করার পার্থক্য হচ্ছে, রাইবোজ শর্করার



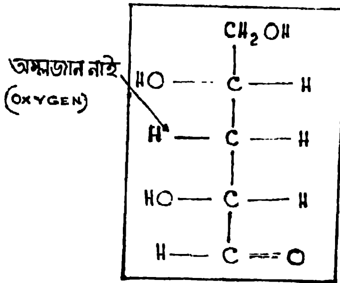

ট্রায়োজ (গ্লিসারাল্ডিহাইড)



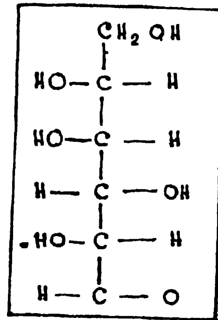

টেট্রোজ (এরিথ্রোজ)




পেন্টোজ (রাইবোজ)




পেন্টোজ (ডিঅক্সিরাইবোজ)




হেক্সোজ (গ্লুকোজ)

৫৯ নং চিত্র ঃ—বিভিন্ন-সংখ্যক কার্বন পরমাণুযুক্ত কার্বোহাইড্রেট।

২ নং[1] কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত অক্সিজেন পরমাণুটি ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করায় অনুপস্থিত থাকে। এইকারণে একে "ডি-অক্সিরাইবোজ" (de-oxy-ribose বা অক্সিজেন-শূন্য রাইবোজ) শর্করা বলা হয়।

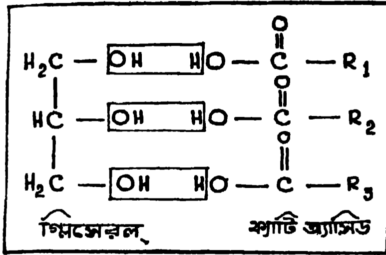
১ রসায়নবিদরা বিভিন্ন কম্পাউন্ড্‌কে নির্ভুলভাবে বর্ণনা করার জন্য কার্বন পরমাণুগুলির প্রত্যেকটিকে ভিন্ন-ভিন্ন সংখ্যা দ্বারা নির্দিষ্ট করেছেন।

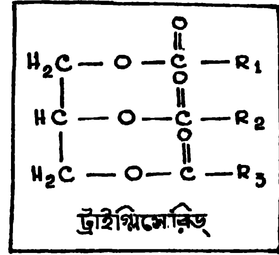
এখানে উল্লেখ করা যেতে পারে যে, অনেক শর্করাতেই কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন-এর পরমাণুর সংখ্যা একইপ্রকারের হতে পারে। তৎসত্ত্বেও তাদের রাসায়নিক ধর্মে (chemical properties) যে প্রভেদ লক্ষ্য করা যায় তার মূলে থাকে তাদের হাইড্রক্সিল শ্রেণীগুলির (-OH groups) ভিন্ন-ভিন্ন রূপে অবস্থান। অর্থাৎ, তাদের অণুতে হাইড্রক্সিল শ্রেণীগুলির অবস্থন (position) কখনই একইপ্রকারের হয় না। যেসব শর্করার কেমিক্যাল কম্পোজিশান একইপ্রকারের, কিন্তু কেমিক্যাল প্রপার্টিজ বা রাসায়নিক ধর্ম ভিন্ন-ভিন্ন প্রকারের, তাদের **আইসোমেরিক শর্করা** (isomeric sugars বা সমাকৃতিবিশিষ্ট শর্করা) বলা হয়। গ্লুকোজ, গ্যালাকটোজ (galactose), ম্যানোজ (manose), ফ্রাকটোজ (fructose) প্রভৃতি শর্করাগুলি উপরি-উক্ত ধরণের, কেননা, তাদের প্রত্যেকেরই রাসায়নিক সংকেত (chemical formula) হচ্ছে, $C_6 H_{12} O_6$।

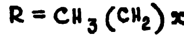
## লিপিড

'লিপিড' শব্দের দ্বারা নিউট্রাল ফ্যাট্স (neutral fats বা প্রশমিত স্নেহদ্রব্য), ফ্যাটি অয়েলস্ (fatty oils), ফস্ফেটিড বা ফস্ফোলিপিড (phosphatides বা phospholipids), মোম (wax) এবং স্টেরয়েড-গুলিকে (steroids) বোঝানো হয়ে থাকে। লিপিডগুলি হেটেরোজীনিয়স (heterogeneous বা অসমসত্ত্বীয়) কতকগুলি রাসায়নিক দ্রব্যের একটি সমবায়। সবচেয়ে সরল আকারের (form) লিপিড কার্বোহাইড্রেট-এর মত কেবলমাত্র **কার্বন, হাইড্রোজেন** ও **অক্সিজেন** দ্বারা গঠিত, কিন্তু শেষোক্ত দু'টি এলিমেণ্ট-এর (elcment বা মৌল) অনুপাত কার্বোহাইড্রেটের মত নয়। এক্ষেত্রে অক্সিজেন-এর তুলনায় কার্বন ও হাইড্রোজেন-এর পরিমাণ অনেক বেশী থাকে [দৃষ্টান্তস্বরূপ, পামিটিন (palmitin) নামে লিপিডের রাসায়নিক সংকেত—$C_{51} H_{98} O_6$]।

সচরাচর লভ্য লিপিডগুলির (common lipids) মধ্যে অন্যতম হচ্ছে, নিউট্রাল ফ্ল্যাট্স। তারা কতকগুলি **ট্রাইগ্লিসেরিড**-এর (triglycerides) মিশ্রণ। প্রতিটি 'ট্রাইগ্লিসেরিড' গ্লিসেরল (glycerol) ও ফ্যাটি অ্যাসিড-এর সমন্বয়ে গঠিত। গ্লিসেরল-এর হাইড্রক্সিল শ্রেণী (—OH group) এবং ফ্যাটি অ্যাসিডের কার্বক্সিল শ্রেণীর (—COOH group) মধ্যে রিঅ্যাক্-শানের (reaction বা বিক্রিয়া) মাধ্যমে ট্রাইগ্লিসেরিড উৎপাদিত হয় (৬০ নং চিত্র)। চিত্রে প্রদর্শিত $R_1$, $R_2$ ও $R_3$ কম্পাউন্ডগুলি অভিন্ন (identical) অথবা ভিন্ন-ভিন্ন (non-identical) ফ্যাটি অ্যাসিডের অংশ।




৬০ নং চিত্র ঃ—ট্রাইগ্লিসেরিড-এর সৃষ্টি।

জটিল লিপিডগুলিতে, যথা, স্টেরয়েডসমূহ, সেক্স্ হর্মোনসমূহ, মোম (wax) ইত্যাদিতে, গ্লিসেরল-এর পরিবর্তে অ্যালকোহল-এর (alcohol বা কোহল) একটি লম্বা শৃঙ্খল (chain) থাকে।

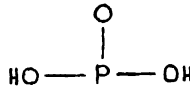
সরল আকারের লিপিডে অনেকসময় যেকোন একটি ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিবর্তে ফস্ফোরাস এবং নাইট্রোজেন-যুক্ত কোন একটি কম্পাউন্ড থাকতে পারে। এইপ্রকার লিপিডকে **ফস্ফেটিড** বা **ফস্ফোলিপিড** বলা হয়, দৃষ্টান্তস্বরূপ লেসিথিন (lecithin), সেফালিন (cephalin) ইত্যাদির উল্লেখ করা যেতে পারে।

কোষের ভিতর লিপিডের গুরুত্ব প্রোটীন ও কার্বোহাইড্রেটের মতই অপরিসীম। এরা কার্বোহাইড্রেটের মত কোষকে 'শক্তি' (energy) প্রদান করতে পারে। তদুপরি, কোষের বিভিন্ন অঙ্গের (organelle), যেমন, প্লাজ্মা মেমব্রেন, এন্ডোপ্লাজ্মিক রেটিকিউলাম, গল্গি প্রভৃতির গঠনেও এর গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে।

## নিউক্লীক অ্যাসিড

জীবদেহে প্রাপ্ত বিভিন্ন অণুর (molecules) মধ্যে নিউক্লীক অ্যাসিডের অণুগুলি সর্ববৃহৎ। একটি নিউক্লীক অ্যাসিড প্রকৃতপক্ষে কতকগুলি **নিউক্লিওটাইড** (nucleotide) দ্বারা গঠিত। আবার, প্রতিটি নিউক্লিওটাইড **ফস্ফোরিক অ্যাসিড**-এর (৬১ নং চিত্র) একটি অণু, **শর্করা**-র (sugar) একটি অণু এবং একটি **নাইট্রোজেনযুক্ত বেস**[1] (nitrogenous base) দ্বারা তৈরী হয়।

১ যেসব পদার্থ হাইড্রোজেন আয়ন-এর (ion) সঙ্গে যুক্ত হতে পারে তাদের 'বেস' (base) বলে।



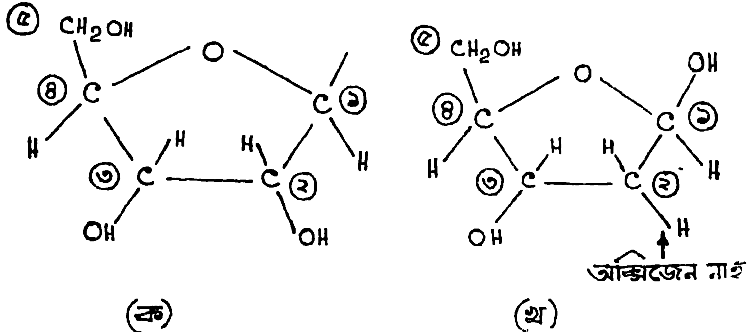




৬১ নং চিত্রঃ—হ     রিক অ্যাসিডের রাসায়নিক সংকেত (chemical formula)।

ফস্‌ফোরিক অ্যাসিডটি আসলে ফস্‌ফোরাস-এর একটি কম্পাউন্ড বা যৌগ এবং যখন কোন রাসায়নিক যোগ-এ (chemical combination) এটি অবস্থান করে তখন একে **ফস্‌ফেট** (phosphate) বলা হয়।

নিউক্লিওটাইড-এর শর্করাটি একটি 'পেণ্টোজ' শর্করা। এটি রাইবোজ শর্করা হ'লে, নিউক্লীক অ্যাসিডটিকে **রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড**[১] (RNA) এবং ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করা হ'লে, নিউক্লীক অ্যাসিডটিকে **ডিঅক্সি-রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড** (DNA) বলা হয়।

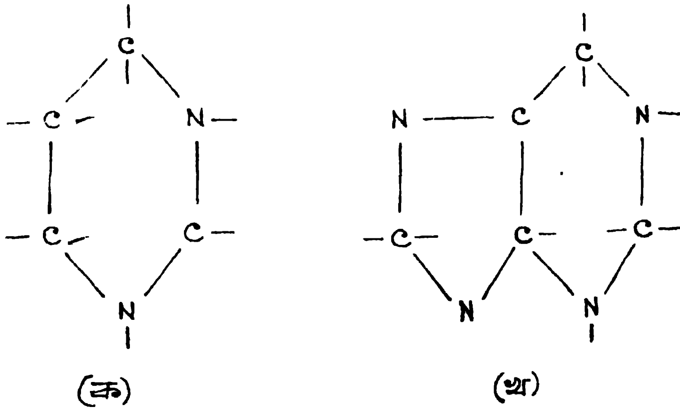



৬২ নং চিত্রঃ—(ক) রাইবোজ এবং (খ) ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার চিত্র-সংকেত (graphic formula)।

নিউক্লিওটাইড-এর বেসগুলি (bases) দুই প্রকারের—**পিরিমিডিন** (pyrimidine) এবং **পিউরিন** (purine)। একটি পিরিমিডিন-এর মূল

১ 'রাইবোজ' (ribose) বা 'ডিঅক্সিরাইবোজ' (deoxyribose) শব্দটি 'নিউক্লীক অ্যাসিড' কথাটির সঙ্গে যুক্ত হ'লে তাদের '-se' অংশটি উহ্য হয়ে যায়।

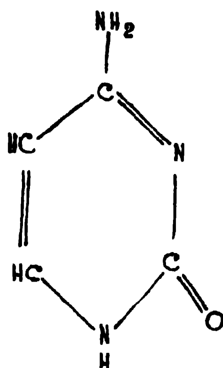
কাঠামোটি (skeleton) হচ্ছে ৪টি **কার্বন** ও ২টি **নাইট্রোজেন** পরমাণুর দ্বারা তৈরী একটি **বলয়** (ring) [ ৬৩ক নং চিত্র ]।

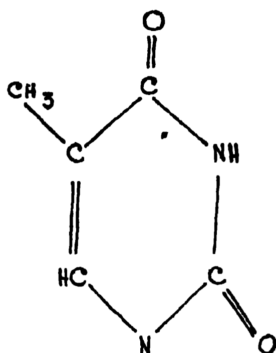



৬৩ নং চিত্রঃ—(ক) পিরিমিডিন এবং (খ) পিউরিন-এর কাঠামো।

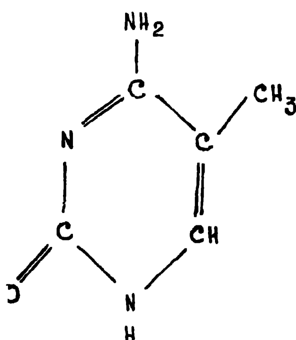
পিউরিন কম্পাউণ্ডগুলির মূল কাঠামোটি **দুইটি বলয়** (double ring) দ্বারা গঠিত এবং ঐ বলয়গুলিও 'কার্বন' ও 'নাইট্রোজেন'-এর পরমাণুর দ্বারা তৈরী হয় (৬৩খ নং চিত্র)। পিউরিন এবং পিরিমিডিন-এর বলয়স্থিত পরমাণুগুলির মুক্ত কেমিক্যাল বণ্ড্গুলির (free chemical bonds) সঙ্গে বিভিন্ন পরমাণু অথবা রাসায়নিক গোষ্ঠী (chemical groups) যুক্ত হতে পারে। (পরবর্তী আলোচনাংশে এধরণের ঘটনা ঘটতে দেখা যাবে)।

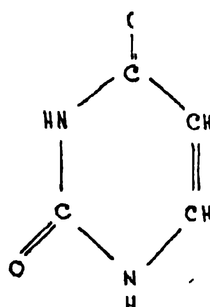
ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড-এ (DNA) যে বেসগুলি সচরাচর দেখা যায় সেগুলি হচ্ছে, **অ্যাডিনিন** (adenine), **থাইমিন** (thymine), **গুয়ানিন** (guanine) ও **সাইটোসিন** (cytosine)। কোন-কোন জীবের ডি.এন.এ.-তে সাইটোসিন-এর পরিবর্তে পাওয়া যায় **৫-মিথাইলসাইটোসিন** (5-methyl-cytosine)। রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিড-এ সচরাচর দৃষ্ট বেসগুলি ডিঅক্সি-রাইবোনিউক্লীক অ্যাসিডের মতই, কেবল **থাইমিন**-এর জায়গায় আর.এন.এ.-তে থাকে **ইউরাসিল** (uracil) বেসটি। এই দু'টি নিউক্লীক অ্যাসিডের 'শর্করা' অংশেও একটি পার্থক্য লক্ষ্য করা যায়। সেটি হচ্ছে, ডি.এন.এ.-র শর্করাটি ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করা এবং আর.এন.এ.-র শর্করাটি রাইবোজ শর্করা।




সাইটোসিন থাইমিন



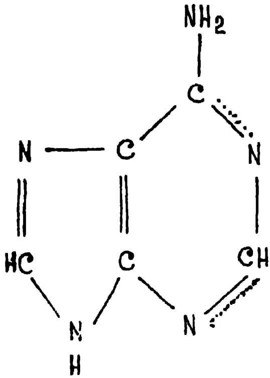



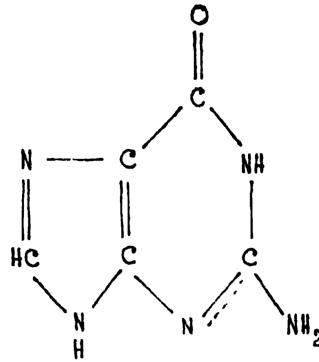

৫ - মিথাইলসাইটোসিন ইউর‍্যাসিল

৬৪ নং চিত্র ঃ—ডি.এন.এ. এবং আর.এন.এ.-র পিরিমিডিন বেসগুলি।

যদি একটি পিউরিন অথবা পিরিমিডিন বেস একটি শর্করার (রাইবোজ বা ডিঅক্সিরাইবোজ) সঙ্গে যুক্ত হয় এবং শর্করাটি যদি পর্যায়ক্রমে (in its turn) একটি ফস্‌ফোরিক অ্যাসিডের সঙ্গে যুক্ত হয়, তাহলে ঐ তিনটি জিনিষের সমন্বয়ে গঠিত নতুন অণুটিকে বলা হয় **নিউক্লিওটাইড** (nucleotide)। ৬৬নং চিত্রে একটি নিউক্লিওটাইড অণুর চিত্র-সংকেত (graphic formula) দেওয়া হয়েছে। ঐ অণুটি অ্যাডিনিন-এর একটি অণু, ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার একটি অণু এবং ফস্‌ফোরিক অ্যাসিডের

একটি অণু দ্বারা গঠিত হয়েছে। এইরূপ নিউক্লিওটাইডকে অ্যাডিনিন **নিউক্লিওটাইড** (adenine nucleotide) বলা হয়। ডি.এন.এ. এবং

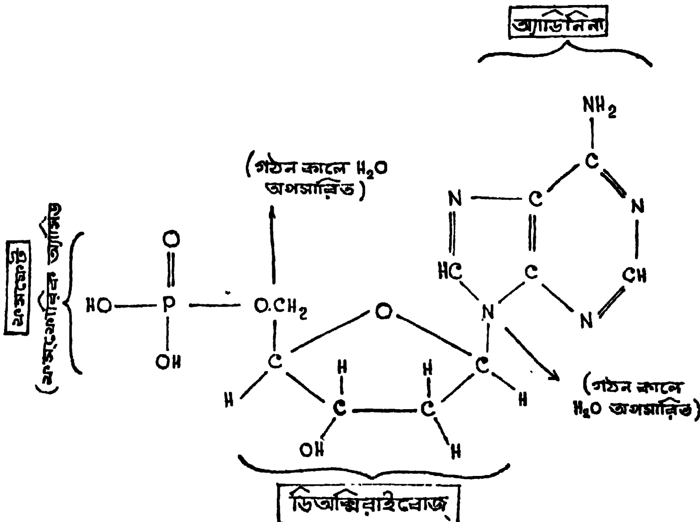



অ্যাডিনিন গুয়ানিন

৬৫ নং চিত্র ঃ—ডি.এন.এ. এবং আর.এন.এ.-র পিউরিন বেসগুলি।

আর.এন.এ-র উপাদানগুলি দ্বারা আর মাত্র কয়েকপ্রকারের নিউক্লিওটাইড গঠিত হতে পারে, যথা, গুয়ানিন-, সাইটোসিন-, ৫-মিথাইলসাইটোসিন-,



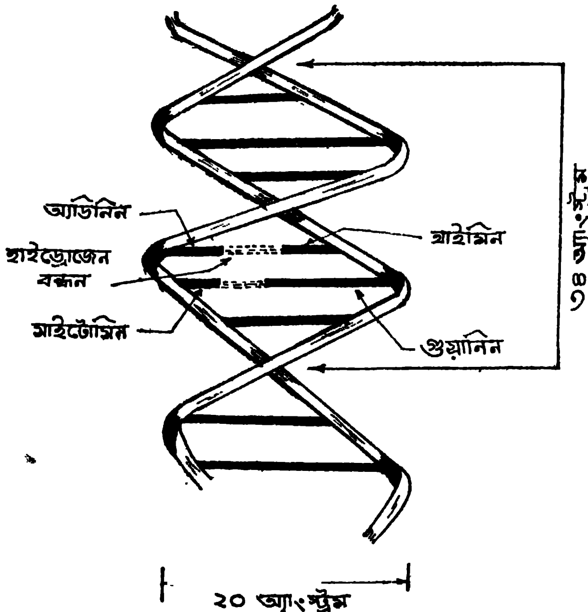

৬৬ নং চিত্র ঃ—অ্যাডিনিন বেসযুক্ত একটি নিউক্লিওটাইড-এর চিত্র-সংকেত (graphic formula)।

থাইমিন- ও ইউরাসিল-নিউক্লিওটাইড। উক্ত নিউক্লিওটাইডগুলির মধ্যে গভীর সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায়— কেবলমাত্র তাদের পিউরিন ও পিরিমিডিন বেসগুলি পরস্পর থেকে ভিন্ন হয়ে থাকে।

### ডি.এন.এ. (*DNA*)

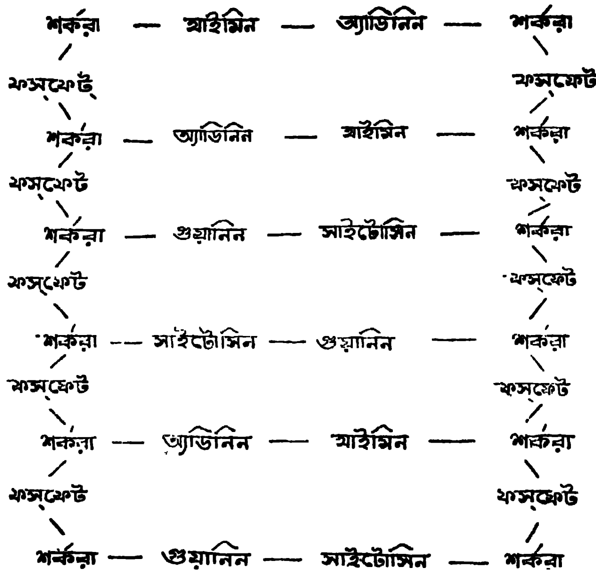
উচ্চশ্রেণীর প্রাণী ও উদ্ভিদের ক্রোমোসোমের একটি আবশ্যিক অংশ হচ্ছে, ডি.এন.এ.। জীন-এর (gene) মূল ধর্ম যেটি, অর্থাৎ 'সেল্ফ্ রেপ্লিকেশান' (self-replication) বা আপন প্রতিরূপ সৃষ্টি করা, সেটি ডি.এন.এ-র ভিতরও দেখা যায়। তদুপরি ডি.এন.এ-র আর একটি ধর্ম হচ্ছে এটি অপেক্ষাকৃত অপরিবর্তনশীল (relatively stable), যা জীন-গঠনকারী রাসায়নিক বস্তুর নিকট থেকে আশা করা হয়ে থাকে।

১৯৫৩ **জে. ডি. ওয়াটসন** (J. D. Watson) এবং **এফ. এইচ. সি. ক্রীক** (F. H. C. Crick) নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে ডি.এন.এ-র একটি নক্সা (model) গঠন করেন। ঐ নক্সা ও তার সমর্থনে তাঁরা যে যুক্তির অবতারণা করেন, তার জন্য ১৯৬২ সালে তাঁরা 'নোবেল পুরস্কার' লাভ




৬৭ নং চিত্র:—ওয়াটসন ও ক্রীক প্রস্তাবিত ডি.এন.এ-র নক্সা (model)।

করেন। তাঁদের মতানুযায়ী ডি.এন.এ. অণুগুলি দু'টি রজ্জুর (strand) মত অংশ দিয়ে তৈরী এবং উক্ত অংশদু'টি পরস্পরকে জড়িয়ে একটি ডবল হেলিক্স-এর (double helix) বা জোড়া কুণ্ডলের সৃষ্টি করে (৬৭নং চিত্র)। ঐ রজ্জুর মত অংশগুলি বেশ দৃঢ় এবং সেগুলি ফস্‌ফেট ও ডিঅক্সিরাইবোজ় শর্করা দিয়ে তৈরী। তারা নাইট্রোজেনযুক্ত বেসসমূহের দ্বারা (nitrogenous bases) হাইড্রোজেন বণ্ড-এর মাধ্যমে পরস্পরের সঙ্গে আড়াআড়িভাবে যুক্ত থাকে। এই আড়াআড়ি সংযোগগুলি (cross links) খুব দৃঢ় নয়। প্রতিটি আড়াআড়ি সংযোগে একটি পিউরিন বেস-কে একটি পিরিমিডিন বেস-এর সঙ্গে যুক্ত থাকতে দেখা যায়। ঐ বেস-জোড়াগুলি (base pairs) যেকোন ক্রমে (order) সজ্জিত থাকতে পারে (৬৮ নং চিত্র)।



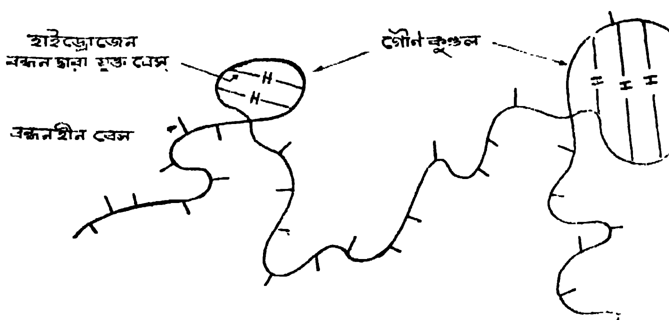

৬৮ নং চিত্র ঃ—ডি.এন.এ-তে বেস-জোড়াগুলির সজ্জাক্রম।

প্রতি হেলিক্স-এর একটি বেস থেকে আর একটি বেস-এর দূরত্ব ৩·৪ অ্যাংস্ট্রম হয়ে থাকে এবং হেলিক্সের একটি সম্পূর্ণ পাক (turn)-এর মধ্যে ১০টি বেস উপস্থিত থাকে। অর্থাৎ, হেলিক্স্‌টির একটি সম্পূর্ণ পাকের দৈর্ঘ্য ৩৪ অ্যাংস্ট্রম। বিভিন্ন রাসায়নিক পরীক্ষা-নিরীক্ষা থেকে এরূপ

ইঙ্গিত পাওয়া গেছে যে, ডি.এন.এ. অণুগুলি খুব লম্বা ও সরু—তারা প্রস্থে প্রায় ২০ অ্যাংস্ট্রম এবং দৈর্ঘ্যে প্রস্থের প্রায় ১000 গুণ বেশী হয়ে থাকে।

### আর.এন.এ. (RNA)

আগেই বলা হয়েছে যে, ডি.এন.এ.-র সঙ্গে আর.এন.এ.-র যে রাসায়নিক পার্থক্য তা তার শর্করা অংশে এবং একটি পিরিমিডিন বেস-এর অংশে। আর.এন.এ-র শর্করাটি 'রাইবোজ' শর্করা (ডি.এন.এ-তে 'ডিঅক্সিরাইবোজ') এবং বেস বা ক্ষারকটি 'ইউরাসিল' (ডি.এন.এ.-তে 'থাইমিন')। উপরিউক্ত পার্থক্যগুলি ছাড়াও তাদের অণুগুলির সজ্জাক্রমেও (orientation) প্রভেদ আছে। অধিকাংশ জীবে আর.এন.এ. ডবল হেলিক্স দ্বারা গঠিত নয়। এতে একটিমাত্র রজ্জুর (strand) মত অংশ থাকে, তবে ঐ অংশটি কোন-কোন জায়গায় নিজের উপর পাক খেয়ে ডি.এন.এ.-তে দেখা হেলিক্সের মত হেলিক্স সৃষ্টি করে (৬৯ নং চিত্র)। শতকরা আনুমানিক ৫০—৮০ ভাগ




৬৯ নং চিত্র ঃ—আর.এন.এ-র প্রস্তাবিত নক্সা।

আর.এন.এ. অণুতে ঐরূপ হেলিক্সযুক্ত অংশ থাকে। এই সেকেন্ডারী হেলিক্সগুলি (secondary helixes বা গৌণ কুণ্ডলীগুলি) আর.এন.এ. অণুতে খুব এলোমেলোভাবে সৃষ্টি হয় না, বরং বলা চলে যে, তাদের সৃষ্টির পিছনে একটি নির্দিষ্ট নিয়ম আছে। কুণ্ডলীকৃত অংশগুলিতে বেসগুলি হাইড্রোজেন বন্ড-এর মাধ্যমে পরস্পর যুক্ত থাকে। বিভিন্ন সাক্ষ্য-প্রমাণাদি থেকে এরূপ আভাস পাওয়া যায় যে, বেসগুলির জোড়-বন্ধন (pairing) ডি.এন.এ.-র মতই, অর্থাৎ, সর্বদাই একটি পিউরিন বেস একটি পিরিমিডিন বেস-এর সঙ্গে যুক্ত থাকে।

১৯৬৩ সালে পি. জে. গোমেটস্ এবং আই. ট্যাম (P. J. Gomatos and I. Tamm) রিওভাইরাস[১]-এর (Reovirus) আর.এন.এ.-র উপর গবেষণার দ্বারা এরূপ ইঙ্গিত পেয়েছেন যে, উক্ত ভাইরাস-এর আর.এন.এ.-তে দু'টি রজ্জুর মত অংশ, অর্থাৎ ডবল হেলিক্স-এর (double helix) অস্তিত্ব আছে।

১ এরা প্রাণিদের শ্বাসযন্ত্রে ও পরিপাকযন্ত্রে পীড়া সৃষ্টিকারী একপ্রকার ভাইরাস।

# ১ ॥ জেনেটিক্স বা জীনতত্ত্ব কি ?

জীববিদ্যার যে শাখা সাধারণত বিভিন্ন জীবের হেরিডিটি (heridity বা বংশগতি) ও ভ্যারিয়েশন (variation বা প্রকরণ) সম্পর্কে অনুসন্ধানে নিয়োজিত থাকে, তাকেই জেনেটিক্স্ (genetics) বা জীনতত্ত্ব বলা হয়। জীনতাত্ত্বিকরা (geneticists) উপরিউক্ত সীমিত গণ্ডীর ভিতর এই শাখাকে আবদ্ধ না রেখে এর পরিধিকে আরও বিস্তৃত করেছেন এবং বর্তমান যুগে জীনতত্ত্ব সকল জৈব-প্রক্রিয়ার মূলে অবস্থিত বলে স্বীকৃত হচ্ছে। হেরিডিটি ও ভ্যারিয়েশন্ সম্পর্কে অনুসন্ধানের কাজ ছাড়াও আধুনিককালের জীনতাত্ত্বিকরা জীন-এর (gene) উৎপত্তি ও রাসায়নিক গঠন, ডেভেলপ্মেণ্টের (development বা পরিস্ফুরণ) উপর তার প্রভাব ইত্যাদি আরও নানাপ্রকারের বিষয় সম্পর্কে, যেগুলির সঙ্গে 'জার্ম-প্লাজ্ম'-এর (germ plasm) কোনও না কোন প্রকারের সংস্রব আছে, তাদের সম্পর্কে জ্ঞানলাভে আত্মনিয়োগ করেছেন। সেইকারণেই, জেনেটিক্স্-এর সর্বাধুনিক্ সংজ্ঞা হচ্ছে, "এটি **জার্ম-প্লাজ্ম সম্পর্কে অনুসন্ধানে নিয়োজিত বিজ্ঞানের একটি শাখা।**"

এখন স্বভাবতই প্রশ্ন উঠতে পারে, 'জার্ম-প্লাজ্ম' কি? যৌন বংশবিস্তারে (sexual reproduction) সক্ষম প্রতিটি জীব নিজের জন্মমুহূর্তে মাতা ও পিতার কাছ থেকে যে বস্তুগুলোকে লাভ করে [মাতার কাছ থেকে ডিম্বাণু (ovum) এবং পিতার কাছ থেকে শুক্রাণু (sperm)] সেগুলোই **জার্ম-প্লাজ্ম** নামে পরিচিত। এই জার্ম-প্লাজ্মের আকৃতি অতি সামান্য হলেও (মানুষের ডিম্বাণুর আণুমানিক ব্যাস ১০০ মাইক্রো অর্থাৎ ০·১ মিলিমিটার এবং শুক্রাণুগুলো ঐ তুলনায় আরও অনেক ছোট) প্রকৃতিতে কিন্তু ওরা অসামান্য। কেননা, নতুন শিশুর জীবনের প্রতিটি কাজের নিয়ন্ত্রণের ক্ষমতাসম্পন্ন বিন্দুগুলি. সাহিত্যের ভাষায় 'সিন্ধুর ক্ষমতাসম্পন্ন বিন্দুগুলি' এবং জেনেটিক্সের ভাষায় 'জীনগুলি' (genes) ঐ জার্ম-প্লাজ্মের মধ্যেই নিহিত থাকে।

আগেই উল্লেখ করা হয়েছে যে হেরিডিটি সম্পর্কে অনুসন্ধান ও অধ্যয়ন জেনেটিক্সের একটি অঙ্গ। 'হেরিডিটি' কথাটির দ্বারা আমরা কি বুঝি? অনেক লোককেই বলতে শোনা যায় যে তিনি তাঁর গৌরকান্তি বা আয়ত-নয়ন তাঁর মাতা বা পিতার কাছ থেকে লাভ করেছেন। সত্যি

কথা বলতে কি, উপরিউক্তরূপ উক্তি সম্পূর্ণরূপে ভুল। কেননা ডিম্বাণু বা শুক্রাণুর ভিতর গৌরকান্তি বা আয়ত-নয়ন-এর কোনটাই উপস্থিত থাকে না। পিতা-মাতার কাছ থেকে আমরা যা পাই তা হচ্ছে, গৌরকান্তি বা আয়ত-নয়ন গঠন করার ক্ষমতাসম্পন্ন জীনগুলি এবং সম্ভবত অন্যান্য আরও কিছু নিয়ন্ত্রক (determiners)। ঐ জীন ও নিয়ন্ত্রকগুলির কার্যকলাপের দ্বারাই পরবর্তীকালে বিশেষ-বিশেষ শারীরিক ও চারিত্রিক গুণাবলীর প্রকাশ ঘটে।

অতএব বোঝা যাচ্ছে যে, কোন মানুষের ভেতর কোন বিশেষ গুণের প্রকাশ এবং তাঁর 'হেরিডিটি' ঠিক এক জিনিষ নয়। যে-মুহূর্তে ডিম্বাণুর নিষেক (fertilization) ঘটছে সেই মুহূর্ত হতেই লব্ধ জীনগুলির ক্রিয়া-কলাপের মাধ্যমে শারীরিক ও চারিত্রিক বৈশিষ্ট্যের প্রকাশলাভ শুরু হচ্ছে। অতএব, **হেরিডিটি** কথাটির দ্বারা **পিতামাতা থেকে সন্তান-সন্ততিতে জার্ম-প্লাজমের হস্তান্তরকেই বোঝানো হয়ে থাকে**। জীন-এর সঙ্গে বিভিন্ন শারীরিক বৈশিষ্ট্যের সম্পর্কটা কি প্রকারের সে বিষয়ে কিছু আলোচনা করা বর্তমানে প্রাসঙ্গিক বলে বোধ হচ্ছে। শারীরিক বৈশিষ্ট্য-গুলি, যথা দীর্ঘ অবয়ব, নীল নয়ন, কুঞ্চিত কেশ ইত্যাদিকে যদি বলা হয় ডেভেলপ্‌মেন্ট্ (পরিস্ফুরণ) প্রক্রিয়ার মাধ্যমে উৎপন্ন দ্রব্য, তাহলে জীন-গুলিকে বলা হবে ঐ দ্রব্যগুলির উৎপাদন নিয়ন্ত্রণ ও নির্ধারণ-কর্তা।

এটা মনে করা ভুল হবে যে প্রতিটি শারীরিক বৈশিষ্ট্যের মূলে এক-একটি জীন আছে। বরং বলা চলে যে, **প্রতিটি বৈশিষ্ট্য অসংখ্য জীন-এর সম্মিলিত ক্রিয়ার ফল**। দৃষ্টান্তস্বরূপ, ড্রসোফিলা (*Drosophila*) নামক পতঙ্গে চোখের রঙ্ কমপক্ষে ২০টি জীনের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। আবার, **কোন একটি জীন কোন একটিমাত্র বৈশিষ্ট্যকে নিয়ন্ত্রণ করার পরিবর্তে একাধিক বৈশিষ্ট্যকে নিয়ন্ত্রণ করতে পারে**। উদাহরণস্বরূপ, অ্যাল্‌বীনো (albino) মানুষের কথা উল্লেখ করা যেতে পারে। এদের চুল, দেহ ও চোখে কোন পিগ্‌মেন্ট্ (pigment বা রঙ্গক) না থাকায় চুল ও দেহটি হয় সাদা রঙের এবং চোখগুলি হয় রক্তাভ। একটিমাত্র জীন-এর মিউটেশন-এর (mutation) ফলে উক্ত অবস্থার সৃষ্টি হয়। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে একটিমাত্র জীন দেহের বিভিন্ন অংশের বৈশিষ্ট্যকে নিয়ন্ত্রণ করছে।

কোন একটি বিশেষ ব্যক্তি বা জীবের শারীরিক ও চারিত্রিক বৈশিষ্ট্যাবলীর নিয়ন্ত্রণে জীনগুলির ভূমিকা খুব গুরুত্বপূর্ণ হলেও এ-ব্যাপারে **পরিবেশ-এর (environment) প্রভাবকে কোনক্রমেই উপেক্ষা করা চলে না**। বরং বলা চলে যে, যেকোন ব্যক্তি বা জীব হেরিডিটি এবং পরিবেশের সম্মিলিত

ক্রিয়ার ফল। ডেভেলপ্‌মেণ্টে পরিবেশের প্রভাবের কথা একটি উদাহারণের দ্বারা সহজেই বোঝানো যায়। 'হিমালয়ান্‌স্' (Himalayans) নামক এক জাতির খরগোশের পা, লেজ এবং কানের প্রান্তভাগগুলি কালো রঙের, কিন্তু দেহের অন্যান্য অংশ সাদা। উষ্ণতায় এইসকল খরগোশের সন্তান-সন্ততিগুলি হয় সাদা, কিন্তু শৈত্যের প্রভাবে তারা হয় কালো রঙের। আবার, ড্রসোফিলার একটি জাতির সাধারণ উত্তাপে ডেভেলপমেণ্ট ঘটলে পায়ের সংখ্যা স্বাভাবিক, অর্থাৎ তিন জোড়া হয়ে থাকে, কিন্তু খুব কম উত্তাপে ডেভেলপ্‌মেন্ট্ ঘটলে প্রতিটি পা চিরে গিয়ে (on splitting) ছয় জোড়া পায়ের সৃষ্টি হতে পারে।

এখন প্রশ্ন হতে পারে, হেরিডিটি এবং পরিবেশ-এর মধ্যে কোন্‌টি অধিক গুরুত্বপূর্ণ? এই প্রশ্নের সদুত্তর দেওয়া সহজ নয়। যেকোন জীবের স্বাভাবিক গঠনে দু'টিরই প্রয়োজন এবং এর কোন একটিকেই অপরটি অপেক্ষা অধিক গুরুত্বপূর্ণ বলা যায় না। দৃষ্টান্তস্বরূপ, মানুষের নিষিক্ত ডিমের ভেতর ক্রোমোসোম (জীন-এর বাহক) না থাকলে সেটার ডেভেলপ্‌মেণ্ট যেমন সম্ভব হ'ত না, তেমনি মাতৃগর্ভ থেকে সেটাকে অপসারিত করলে যথাযথ পুষ্টি, উত্তাপ ইত্যাদির অভাবেও তার ডেভেলপ্‌মেণ্ট সম্ভব হ'ত না। জীনের কার্যক্রম পরিবেশের ওপর নির্ভরশীল। এই পরিবেশ বলতে নিউক্লিয়সের সঙ্গে সাইটোপ্লাজ্‌ম ও ঐ সেলের অবস্থান ইত্যাদি বোঝায়।

এই পুস্তকের পরবর্তী অধ্যায়গুলির বিষয়বস্তু বিদ্যার্থীবৃন্দ যাতে সহজে হৃদয়ঙ্গম করতে পারে, সেইকারণে দু'টি অতি-ব্যবহৃত নির্দিষ্ট অর্থবোধক জেনেটিক শব্দের (genetic term) সঙ্গে এই অধ্যায়ে তাদের পরিচয় করিয়ে দিতে চাই। শব্দ-দু'টি হচ্ছে, 'লোকাস' (locus) ও 'অ্যালীল্' (allele)।

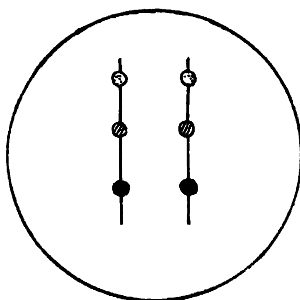
**লোকাস** (Locus):—আমরা জানি যে জীনগুলির অবস্থান ক্রোমোসোম-দেহে। এখন মনে রাখতে হবে, একটি নির্দিষ্ট জীন একটি নির্দিষ্ট ক্রোমোসোমের একটি নির্দিষ্ট অংশে অবস্থিত থাকে। ক্রোমোসোমের ঐ অংশটিকে ঐ বিশেষ জীন-এর 'লোকাস'[১] বলা হয়।

আর একটি জ্ঞাতব্য বিষয় হচ্ছে, কোন একটি বৈশিষ্ট্যকে নিয়ন্ত্রণকারী সমুদয় জীন একইসাথে থাকে না। দৃষ্টান্তস্বরূপ, ড্রসোফিলার দেহবর্ণের (body colour) নিয়ন্ত্রণকারী জীনগুলির সবক'টিই একটিমাত্র ক্রোমোসোমের ভেতর না থেকে বিভিন্ন ক্রোমোসোমের ভেতর ছড়ানো আছে। তদুপরি, কোন একটি ক্রোমোসোমে একটি 'দেহবর্ণের জীন' একটি 'চক্ষু-

১ ইংরাজীতে একবচনে 'লোকাস' এবং বহুবচনে 'লোসি' (loci) লেখা হয়।

বর্ণের জীনের' অব্যবহিত পরে অবস্থিত থাকতে পারে, আবার অন্য একটি ক্রোমোসোমে তা' 'ডানার গঠন' নিয়ন্ত্রণকারী একটি জীনের পর থাকতে পারে।

**অ্যালীল্** (Allelc) ঃ—**যেকোন একজোড়া হমলগাস্ ক্রোমোসোমের** (প্রথম খণ্ডের দশম অধ্যায় দ্রষ্টব্য) **কোন একটি নির্দিষ্ট লোকাসে অবস্থিত জীন-দু'টিকে পরস্পরের অ্যালীল্ বলা হয়** (১ নং চিত্র)। সাধারণত অ্যালীল্-



১ নং চিত্র ঃ—একটি কোষে দু'টি হমলগাস ক্রোমোসোমকে দেখানো হয়েছে। পাশাপাশি দেখানো জীনজোড়া পরস্পরের অ্যালীল [নক্সাকার চিত্র]।

গুলির আচরণ পরস্পরসদৃশ হয়ে থাকে। তবে, কোন-কোন ক্ষেত্রে মিউটেশন্-এর (সপ্তম অধ্যায় দ্রষ্টব্য) ফলে তাদের যেকোন একটির ভেতর পরিবর্তন ঘটে উভয়ের আচরণের মধ্যে বৈসাদৃশ্যের আবির্ভাব হতে পারে। যেমন, ড্রসোফিলার চোখের স্বাভাবিক রঙ্ হচ্ছে লাল। চক্ষুবর্ণের জন্য নির্দিষ্ট জীনগুলির সম্মিলিত ক্রিয়ার ফলেই চোখটি লাল রঙের হয়। কখনও-কখনও এই জীনগুলির কোন একটির মিউটেশনের ফলে চোখটি লালের পরিবর্তে সাদা হয়ে থাকে। যে জীনটির মিউটেশন ঘটে তাকে বলা হয় **মিউটেটেড অ্যালীল্** (mutated allele) এবং তার অপর সাথীটি **নর্ম্যাল অ্যালীল্** (normal allele) রূপে পরিচিত হয়। হমলগাস্ ক্রোমোসোম-জোড়ার কোনও লোকাসের অ্যালীল্-দু'টি একইপ্রকারের হ'লে (দু'টিই নর্ম্যাল অথবা দু'টিই মিউটেটেড) লোকাস্‌টিকে **হোমোজাইগাস্ লোকাস্** (homozygous locus) এবং অ্যালীল্‌দু'টি ভিন্নপ্রকারের হ'লে (একটি নর্ম্যাল এবং একটি মিউটেটেড) লোকাস্‌টিকে সংকর লোকাস্

(hybrid locus) বা **হেটেরোজাইগাস্ লোকাস্** (heterozygous locus) বলা হয়। একটি হেটেরোজাইগাস্ লোকাস্ তার মিউটেটেড জীনটির নামেই পরিচিত হয়। দৃষ্টান্তস্বরূপ, ড্রসোফিলার যে লোকাসের একটি অ্যালীলের মিউটেশনের ফলে চোখটি সাদা রঙের হয়, সেই লোকাস্‌টি 'সাদা চক্ষু লোকাস্' (white eye locus) নামে পরিচিত।

'জীন' সম্পর্কে বিশদ আলোচনা ষষ্ঠ অধ্যায়ে করা হয়েছে।

## ২ ॥ মেন্‌ডেল্‌-এর মৌলিক তথ্যাদি

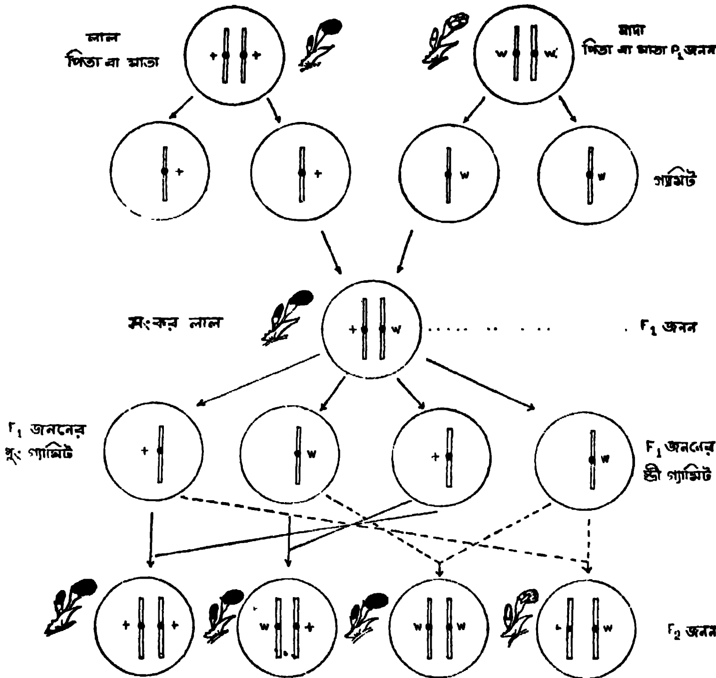
**জোহান গ্রেগর মেন্‌ডেল্‌**-কে (Johann Gregor Mendel) জীন-বিজ্ঞানের জন্মদাতা বলা হয়। তিনি ছিলেন অস্ট্রিয়াবাসী একজন যাজক। বর্তমানে চেকোশ্লোভাকিয়ার ব্রোনো শহরে তাঁর সমাধি ও চার্চটি আছে। চার্চ-সংলগ্ন একটি স্থানে তাঁর নামে তাঁর কাজের জিনিষ দ্বারা একটি সংগ্রহশালা নির্মিত হয়েছে। তিনি মটরশুঁটী (pea) উদ্ভিদ্‌কে নিয়ে প্রজন (breeding) সংক্রান্ত অনেক পরীক্ষা চালান। উক্ত পরীক্ষালব্ধ ফল থেকে তিনি কয়েকটি সিদ্ধান্তে উপনীত হন। ঐ সিদ্ধান্তগুলিই 'হেরিডিটি সম্পর্কে মেন্‌ডেল্‌-এর মৌলিক তথ্যাদি' (Mendel's principles of heredity) রূপে পরিচিত। মেন্‌ডেল্‌ ১৮৬৬ সালে তাঁর তথ্যাদি প্রথম প্রকাশ করলেও তা' সে-সময়কার বিজ্ঞানীদের দৃষ্টি এড়িয়ে যায়। ১৯০০ খৃষ্টাব্দে মেন্‌ডেলের আবিষ্কৃত তথ্যাদি **ডে ভ্রিস্‌** (de Vries), **কোরেন্স্‌** (Correns) এবং **ভন্‌ শেরম্যাক** (Von Tschermak) নামক তিনজন বিজ্ঞানী পৃথক্‌ পৃথক্‌ভাবে পুনরাবিষ্কৃত করেন।

মেন্‌ডেলের মৌলিক তথ্যগুলি বিবৃত করার আগে তাঁর প্রজন-সংক্রান্ত পরীক্ষাগুলি (breeding experiments) সম্পর্কে আলোচনা করা যুক্তি-যুক্ত বলে মনে হয়। ঐ পরীক্ষাগুলি এবং পরীক্ষালব্ধ ফলগুলি জানা হ'লে হেরিডিটির তথ্যগুলি সহজে বোঝা যাবে। মেন্‌ডেল্‌ তাঁর গবেষণার ফল জার্মান ভাষায় লিপিবদ্ধ করে প্রকাশ করেন। ঐ কাজটির ইংরাজী অনুবাদ সিনোট, ডান ও ডব্‌জান্‌স্‌কির লেখা 'প্রিন্সিপল্‌স্‌ অফ্‌ জেনেটিক্স্‌' নামক বইয়ের উপসংহারে সংযোজিত হয়েছে। সেটি বিদ্যার্থীদের পাঠ করতে অনুরোধ করছি।

**মেন্‌ডেলের প্রথম পর্যায়ের পরীক্ষা**ঃ মেন্‌ডেল ভোজ্য মটরশুঁটীর (*Pisum sativum*) বিভিন্ন জাতির মধ্যে ক্রস্‌ পলিনেশন (cross-pollination বা ইতর পরাগযোগ) ঘটিয়ে তাঁর পরীক্ষা চালান। দৃষ্টান্তস্বরূপ, তিনি লাল রঙের পুষ্পশোভিত একজাতির সঙ্গে সাদা পুষ্পশোভিত আর একজাতির ক্রস্‌ পলিনেশন্‌ সংঘটিত করেন। উক্ত পলিনেশনের দ্বারা উৎপাদিত উদ্ভিদ্‌গুলির সবক'টিই লাল পুষ্পসমন্বিত হয়। মেন্‌ডেল্‌ নবোৎপাদিত উদ্ভিদ্‌গুলিতে সেল্‌ফ্‌ পলিনেশন্‌ (self-pollination বা স্ব-পরাগযোগ) ঘটান এবং বিস্ময়ের সঙ্গে লক্ষ্য করেন যে তাদের প্রত্যেকটি

থেকে লাল পুষ্পসমন্বিত ও সাদা পুষ্পসমন্বিত উভয়প্রকার উদ্ভিদেরই সৃষ্টি হয়েছে, এবং লাল ও সাদার অনুপাত দাঁড়িয়েছে ৩:১।

বর্তমানকালে ক্রোমোসোম এবং জীন সম্পর্কে আমাদের যথাযথ ধারণা থাকার ফলে মেন্‌ডেলের পরীক্ষালব্ধ ফলগুলিকে আমরা সহজেই বুঝতে পারি। মটরশুঁটীর পুষ্পের স্বাভাবিক রঙ্‌ হচ্ছে লাল এবং এই লাল রঙ্‌ অনেকগুলি জীনের ইণ্টারঅ্যাক্‌শনের (interaction বা পারস্পরিক ক্রিয়া) ফল। এই নর্‌ম্যাল জীনগুলির যেকোন একটিতে মিউটেশনের ফলে সাদা পুষ্পের উদ্ভব হয়েছে। এখন নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌টিকে + প্রতীক[১] দ্বারা এবং মিউটেটেড অ্যালীল্‌টিকে w প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করলে একটি অমিশ্রিত




২ নং চিত্রঃ—মটরশুঁটীর লাল ও সাদা পুষ্পসমন্বিত দু'টি জাতির মধ্যে ক্রস্‌। [ছবিতে নীচের সারির সবচেয়ে ডানদিকের পুষ্পটিকে সাদা রঙের পুষ্প হিসেবে দেখানো হয়েছে, কিন্তু ওটি হবে রঙীন এবং ডানদিক থেকে দ্বিতীয় পুষ্পটি হবে সাদা।]

১ নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌টিকে '+' প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করাই প্রচলিত রীতি।

(pure) লাল বা হোমোজাইগাস্ লাল এবং একটি অমিশ্রিত সাদা বা হোমোজাইগাস্ সাদা পুষ্পসমন্বিত উদ্ভিদের সাদা লোকাসটির (white locus) জেনেটিক সংযুতি (genetic composition) যথাক্রমে +/+ এবং w/w হবে (২ নং চিত্র)।

এখন, উপরি-উক্ত লাল পুষ্পসমন্বিত গাছটির পুং এবং স্ত্রী উভয়প্রকার গ্যামিট-এর প্রতিটিতেই সাদা লোকাসে + চিহ্নিত অ্যালীল্ থাকবে এবং তদনুরূপে সাদা পুষ্পসমন্বিত গাছটির প্রতিটি গ্যামিটেই উক্ত লোকাসে w চিহ্নিত অ্যালীল্ থাকবে (২ নং চিত্র)। যখন উপরোদ্ধৃত দু'প্রকার গাছের মধ্যে ক্রস্ পলিনেশন্ ঘটবে তখন একটি + এবং একটি w গ্যামিটের সংমিশ্রণ ঘটবে। ফলে, +/w জেনেটিক সংযুতিসম্পন্ন উদ্ভিদের সৃষ্টি হবে (২ নং চিত্র)। নতুন উদ্ভিদ্গুলির সাদা লোকাস্টিতে + এবং w দু'প্রকার অ্যালীল্ উপস্থিত থাকলেও উদ্ভিদ্গুলি লাল পুষ্পসমন্বিত হয়। এরূপক্ষেত্রে নর্ম্যাল অ্যালীল্টিকে (+) **ডমিনাণ্ট্** (dominant বা প্রকট) ও মিউটেটেড অ্যালীল্টিকে (w) **রিসেসিভ্** (recessive বা প্রচ্ছন্ন) অ্যালীল্ বলা হয় এবং উদ্ভিদ্টিকে সাদা লোকাসে **সংকর** (hybrid) বা **হেটেরোজাইগাস্** (heterozygous) বলা হয়।

সংকর উদ্ভিদে + এবং w অ্যালীল্গুলি পরস্পরের সাথে মিশ্রিত হয়ে যায় না। সেইকারণে, তাদের গ্যামিট সৃষ্টির কালে যখন মায়োটিক বিভাজন ঘটে তখন + এবং w পরস্পর হ'তে পৃথক্ হয়ে যায় (২ নং চিত্র)। ফলে, অর্ধেক গ্যামিট + অ্যালীল্কে এবং অর্ধেক গ্যামিট w অ্যালীল্কে লাভ করে। এখন এই সংকর উদ্ভিদ্গুলিতে সেল্ফ্-পলিনেশন্ বা স্ব-পরাগযোগ ঘটলে একটি + পুং গ্যামিট যেমন একটি + অথবা w স্ত্রী গ্যামিটকে নিষিক্ত করতে পারে তেমনি একটি w পুং গ্যামিটও একটি + অথবা w স্ত্রী গ্যামিটকে নিষিক্ত করতে পারে। ফলে, উক্ত সংকর উদ্ভিদে স্ব-পরাগযোগ দ্বারা নিম্নলিখিত অনুপাতে সন্তান-সন্ততি সৃষ্টি হয়ে থাকে—১টি +/+ ঃ ২টি +/w ঃ ১টি w/w। প্রথম দু'টি শ্রেণীর উদ্ভিদ্গুলি লাল পুষ্পসমন্বিত এবং শেষোক্ত শ্রেণীটির উদ্ভিদগুলি সাদা পুষ্পসমন্বিত হয়। অতএব লাল ও সাদার অনুপাত দাঁড়াচ্ছে ৩ : ১।

উপরি-উক্ত প্রজন সংক্রান্ত পরীক্ষার মূল (original) লাল ও সাদা পুষ্পসমন্বিত গাছগুলিকে [যারা প্রকৃতপক্ষে প্রথম জনন-কে (generation) প্রতিনিধিত্ব করছে] $P_1$ (বা পেরেণ্টাল জেনারেশন) প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। তাদের সংযোগে উৎপাদিত সংকর উদ্ভিদগুলিকে $F_1$ (বা প্রথম ফিলিয়াল জেনারেশন) প্রতীক দ্বারা এবং সংকরগুলি কর্তৃক

উৎপাদিত উদ্ভিদ্‌গুলিকে $F_2$ (বা দ্বিতীয় ফিলিয়াল জেনারেশন্‌) প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। অর্থাৎ, একটি অমিশ্রিত (pure) লাল পুষ্পসমন্বিত উদ্ভিদ্‌ এবং একটি অমিশ্রিত সাদা পুষ্পসমন্বিত উদ্ভিদের মধ্যে ক্রস্‌-পলিনেশন্‌ ঘটলে $P_1$, $F_1$ এবং $F_2$ জননগুলি নিম্নরূপ হয়ঃ—

| | | | |
|---|---|---|---|
| $P_1$ | লাল (+/+) | × | সাদা (w/w) |
| $F_1$ | লাল (+/w) | | |
| $F_2$ | ১ +/+ ঃ ২ +/w ঃ ১ w/w | | |

বা

৩ লাল ঃ ১ সাদা

মেন্‌ডেল্‌ $F_2$ জননের উদ্ভিদ্‌গুলির মধ্যে সেল্ফ্‌-পলিনেশন্‌ ঘটিয়ে লক্ষ্য করনে যে, লাল পুষ্পসমন্বিত উদ্ভিদ্‌গুলির তিনভাগের একভাগ থেকে কেবলই লাল পুষ্পসমন্বিত উদ্ভিদের সৃষ্টি হচ্ছে। অতএব, ঐ গাছগুলি অমিশ্রিত লাল (pure red) এবং ওদের জেনেটিক সংযুতি +/+। লাল পুষ্পসমন্বিত বাকী উদ্ভিদ্‌গুলি (তিনভাগের দুভাগ) লাল এবং সাদা পুষ্পসমন্বিত উভয়প্রকার উদ্ভিদেরই সৃষ্টি করেছে। অতএব, ওরা ছিল মিশ্রিত বা সংকর লাল (hybrid red) এবং ওদের জেনেটিক সংযুতি +/w। সাদা পুষ্পসমন্বিত উদ্ভিদ্‌গুলি কেবলই সাদার সৃষ্টি করেছে। অতএব, তারা ছিল অমিশ্রিত সাদা (pure white) এবং তাদের জেনেটিক সংযুতি w/w।

**পর্যবেক্ষণঃ** প্রজন-সংক্রান্ত উপরি-উক্ত পরীক্ষাকালে মেন্‌ডেল্‌ দু'টি জিনিষ লক্ষ্য করেনঃ— (১) সংকর উদ্ভিদ্‌গুলিতে দু'টি অ্যালীলের মধ্যে মাত্র একটির প্রকাশ ঘটছে, অপরটি নিজেকে প্রকাশ করতে পারছে না। (২) $F_1$ জননের সংকরগুলি থেকে অমিশ্রিত লাল ও সাদা পুষ্প সমন্বিত উদ্ভিদের সৃষ্টি হচ্ছে। অর্থাৎ, বোঝা যাচ্ছে যে $F_1$ সংকরগুলিতে সাদা অ্যালীল্‌ ও তার নর্‌ম্যাল অ্যালীলের মধ্যে মিশ্রণ ঘটে নি। কিন্তু এই পরীক্ষাকাজের আগে এরূপ ধারণা প্রচলিত ছিল যে, সংকরগুলিতে লাল ও সাদার মিশ্রণ ঘটে। ফলে তারা লাল ও সাদার মাঝামাঝি রঙের পুষ্প-সমন্বিত উদ্ভিদের সৃষ্টি করে।

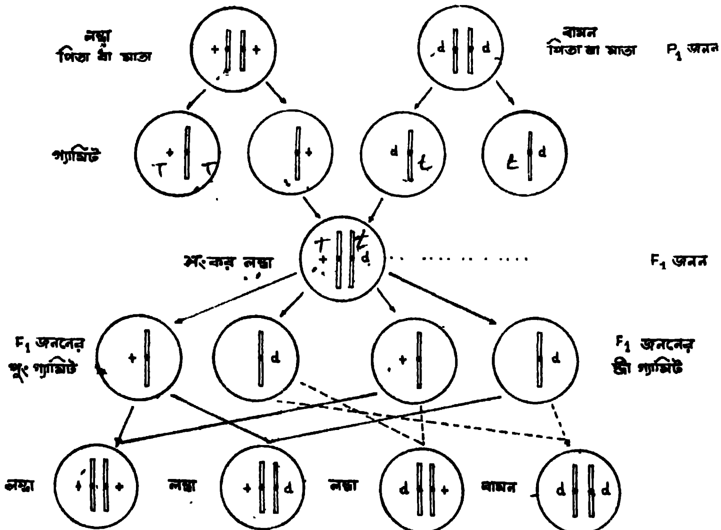
**সিদ্ধান্তঃ** উপরি-উক্ত পর্যবেক্ষণগুলি থেকে মেন্‌ডেল্‌ যে সিদ্ধান্তে উপনীত হন সে'টি হেরিডিটি সম্পর্কে মেন্‌ডেলের প্রথম সূত্র রূপে পরিচিত। সূত্রটি নিম্নরূপঃ—

(১) **সেগ্রিগেশনের সূত্র** (Law of segregation বা পৃথগ্‌ভবনের

সূত্র)ঃ— সংকর জীবের মধ্যে বিপরীত বৈশিষ্ট্যগুলির (বা অ্যালীল্‌গুলির) মিশ্রণ ঘটে না। তাদের মধ্যে গ্যামিট সৃষ্টির কালে বিপরীত বৈশিষ্ট্যগুলি পরস্পর থেকে পৃথক্‌ হয়ে যায়।

মনে রাখতে হবে যে, মেন্‌ডেল্‌ পূর্ব-বর্ণিত একটিমাত্র পরীক্ষার ওপর ভিত্তি করেই উপরি-উক্ত সিদ্ধান্তটি গ্রহণ করেননি। তিনি আরও নানা-প্রকারের বিপরীত বৈশিষ্ট্যসমন্বিত মটরশুঁটী উদ্ভিদের মধ্যে প্রজননক্রিয়া ঘটিয়ে একইরূপ ফল লাভ করেন। ফলে, উপরি-উক্ত সিদ্ধান্তগুলি সম্পর্কে তিনি সুনিশ্চিত হন। মেন্‌ডেলের অন্যান্য পরীক্ষাগুলির মধ্যে কয়েকটি সংক্ষেপে নিম্নে বর্ণিত হ'ল।

**এক॥** অমিশ্রিত লম্বা (pure tall) এবং অমিশ্রিত বামন (pure dwarf) মটরশুঁটী উদ্ভিদের মধ্যে ক্রস্‌-পলিনেশন্‌ ঘটিয়ে $F_1$ জননে মেন্‌ডেল লক্ষ্য করেন যে সবক'টি উদ্ভিদ্‌ই লম্বা হয়েছে। ঐ $F_1$ জননের উদ্ভিদ্‌গুলির মধ্যে সেল্ফ্‌-পলিনেশন্‌ ঘটিয়ে $F_2$ জননে তিনভাগ লম্বা ও একভাগ বামন উদ্ভিদ (৩ঃ১) উৎপাদিত হ'তে দেখেন। $F_2$ জননের উদ্ভিদ্‌গুলির মধ্যে পুনরায় সেল্ফ্‌-পলিনেশন ঘটিয়ে তিনি লক্ষ্য করেন যে, লম্বা উদ্ভিদ্‌গুলির এক-তৃতীয়াংশ হ'তে কেবলমাত্র লম্বা উদ্ভিদ্‌ এবং




৩ নং চিত্রঃ—মটরশুঁটীর লম্বা ও বামন জাতির মধ্যে ক্রস্‌।

দুই-তৃতীয়াংশ হ'তে লম্বা ও বামন উভয়প্রকার উদ্ভিদ্‌ই সৃষ্টি হয়েছে। বামন উদ্ভিদ্‌গুলি কেবলমাত্র বামন উদ্ভিদেরই জন্ম দিয়েছে। বামন অ্যালীল্‌টি সম্ভবত 'মিউটেটেড অ্যালীল্‌'। এখন বামন অ্যালীল্‌টিকে d প্রতীক দ্বারা ও তা'র 'নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌'-টিকে + প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করলে এই পরীক্ষার ফলগুলিকে ৩ নং চিত্র থেকে সহজে বোঝা যাবে।

দুই॥ মেন্‌ডেল্‌ হলুদ এবং সবুজ রঙের বীজসমন্বিত মটরশুঁটী উদ্ভিদ্‌কে নিয়েও প্রজন-সংক্রান্ত পরীক্ষা চালান। কোন-কোন জাতির উদ্ভিদে পরিণত মটর বীজগুলি সবুজ রঙের হয়ে থাকে, এবং সম্ভবত হলুদ জাতি থেকে মিউটেশনের দ্বারা সবুজ জাতির উদ্ভব হয়েছে। মেন্‌ডেল্‌ এই পরীক্ষা হ'তে যে ফল লাভ করেন তা' সংক্ষেপে নিম্নরূপঃ—

$P_1$ জনন হলুদ (+/+) × সবুজ (g/g)

$F_1$ জনন হলুদ (+/g)

$F_2$ জনন ১ +/+ ঃ ২ +/g ঃ ১ g/g

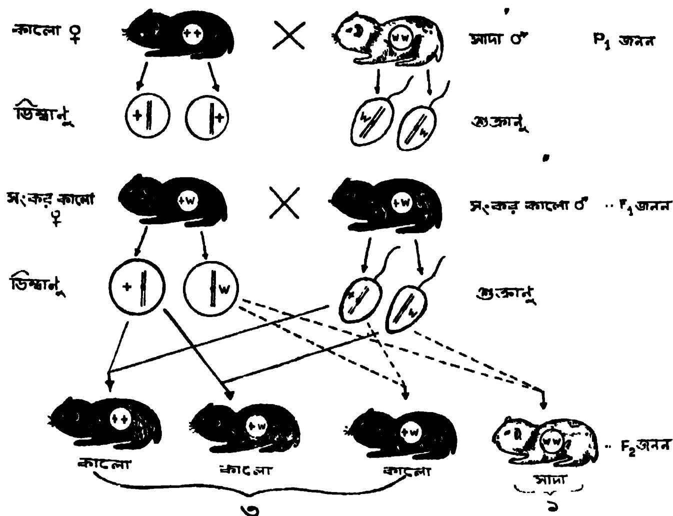
বা

৩ হলুদ ঃ ১ সবুজ

মেন্‌ডেলের তথ্যাদি প্রকাশিত হ'বার পর বিভিন্ন দেশে বহুসংখ্যক গবেষক প্রজন-সংক্রান্ত অসংখ্য পরীক্ষা চালিয়ে প্রমাণ করেন যে, মেন্‌ডেলের মৌলিক নীতিগুলি উদ্ভিদ্‌ এবং প্রাণী উভয়প্রকার জীবের ক্ষেত্রেই সমভাবে প্রযোজ্য। প্রাণিদের ক্ষেত্রে মেন্‌ডেলের নীতিগুলির যুক্তিসিদ্ধতা নিম্নলিখিত পরীক্ষা থেকে প্রমাণিত হয়।

একটি অমিশ্রিত কালো (pure black, জেনেটিক সংযুতি +/+) এবং একটি অমিশ্রিত সাদা (pure white, জেনেটিক সংযুতি w/w) রঙের গিনিপিগের মধ্যে প্রজন ঘটলে $F_1$ জননের সবক'টি প্রাণিই কৃষ্ণবর্ণের হয় (৪ নং চিত্র)। এখন, $F_1$ জননের যেকোন দু'টি প্রাণির মধ্যে প্রজনক্রিয়া সাধিত হ'লে $F_2$ জননে ৩ ঃ ১ অনুপাতে যথাক্রমে কালো ও সাদা গিনিপিগ উৎপাদিত হয়ে থাকে (৪ নং চিত্র)। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, এই পরীক্ষার দ্বারা যে ফল পাওয়া যাচ্ছে তার সঙ্গে মটরশুঁটী উদ্ভিদে পাওয়া মেন্‌ডেলের ফলের কোনই গরমিল নেই।

**জীনোটাইপ ও ফীনোটাইপ** (Genotype and Phenotype)ঃ কালো এবং সাদা গিনিপিগের মধ্যে প্রজনক্রিয়ার দ্বারা প্রাপ্ত $F_2$ জননের গিনিপিগগুলিকে তাদের জেনেটিক সংযুতির দ্বারা (১ +/+ ঃ ২ +/w ঃ ১ w/w) অথবা তাদের বাহ্য-সাদৃশ্যের দ্বারা (এক্ষেত্রে দেহবর্ণ—৩ কালো ঃ ১ সাদা) শ্রেণীবদ্ধ করা যেতে পারে। জেনেটিক সংযুতির (genetic composition)




৪ নং চিত্রঃ—কালো ও সাদা জাতির গিনিপিগের মধ্যে ক্রস্।

দ্বারা নির্ধারিত শ্রেণীকে 'জীনোটাইপ' এবং বাহ্যিক-সাদৃশ্যের দ্বারা নির্ধারিত শ্রেণীকে 'ফীনোটাইপ' আখ্যা দেওয়া হয়।

আলোচ্য পরীক্ষায় +/+, +/w, w/w প্রভৃতি জেনেটিক সংযুতিসম্পন্ন গিনিপিগগুলি এক-একটি 'জীনোটাইপ'-এর বা জীনোটিপিক শ্রেণীর (genotypic class) প্রতিনিধিত্ব করছে। তদনুরূপে, কালো ও সাদা গিনিপিগগুলি দু'টি ভিন্ন-ভিন্ন 'ফীনোটাইপ' বা ফীনোটিপিক শ্রেণী (phenotypic class)। $F_2$ জননের কালো ফীনোটাইপটির ভেতর আবার দু'প্রকার জীনোটাইপের অস্তিত্ব রয়েছে, যথা, +/+ (অমিশ্রিত কালো) এবং +/w (সংকর কালো)।

### ৩ ঃ ১ অনুপাত কখন সম্ভব ?

কালো এবং সাদা গিনিপিগের মধ্যে প্রজননের দ্বারা $F_2$ জননে যদি মাত্র ৪টি শাবক উৎপাদিত হয়, তাহলে তা'র মধ্যে তিনটি যে কালো এবং একটি যে সাদা হবে এমনকথা নিশ্চিতরূপে বলা যায় না। কেননা, ৩ঃ১ অনুপাত একটি গড় ফল (average result), পরম ফল (absolute result) নয়। অল্টেনবার্গ (Altenburg) এই ব্যাপারটিকে মুদ্রা নিক্ষেপের (tossing of a coin) সঙ্গে তুলনা করেছেন। মুদ্রা নিক্ষেপকালে ১ঃ১ অনুপাতে

'হেড' ও 'টেল' পাওয়া সম্ভব। কিন্তু, একটি মুদ্রাকে কেবলমাত্র দু'বার নিক্ষেপ করলে উক্ত অনুপাতে হেড ও টেল না পেয়ে, দু'বারই হেড বা দু'বারই টেল লাভ হ'তে পারে। কিন্তু মুদ্রাটিকে যদি বহুবার নিক্ষেপ করা হয়, ধরা যাক ১০০ বার, সেক্ষেত্রে প্রায় ৫০ বার হেড ও প্রায় ৫০ বার টেল পাওয়া সম্ভব (অর্থাৎ, ১ঃ১ অনুপাতে)। অতএব ব্যাপারটি দাড়াচ্ছে, যত বেশীবার মুদ্রাটি নিক্ষিপ্ত হবে হেড ও টেল প্রাপ্তির সংখ্যা ততই ১ঃ১ অনুপাতের কাছাকাছি পেঁছোবে। প্রজন-সংক্রান্ত পরীক্ষার ক্ষেত্রেও সন্তান-সন্ততির সংখ্যা $F_2$ জননে যত বেশী হ'বে, পরীক্ষালব্ধ ফলও ততই ৩ঃ১ অনুপাতের কাছাকাছি আসবে। মেন্‌ডেলের পরীক্ষালব্ধ ফলগুলি (অর্থাৎ, $F_2$ জননের উদ্ভিদ্‌সংখ্যা) প্রকৃতপক্ষে নিম্নরূপঃ—

**এক ॥** লাল × সাদা

৭০৫ টি লাল ঃ ২২৪ টি সাদা .........$F_2$ জনন।

অর্থাৎ

৩·০১ লাল ঃ ০·৯৭ সাদা

**দুই ॥** লম্বা × বামন

৭৮৭ টি লম্বা ঃ ২৭৭ টি বামন ......... $F_2$ জনন।

অর্থাৎ

২·৯৬ লম্বা ঃ ১·০৪ বামন

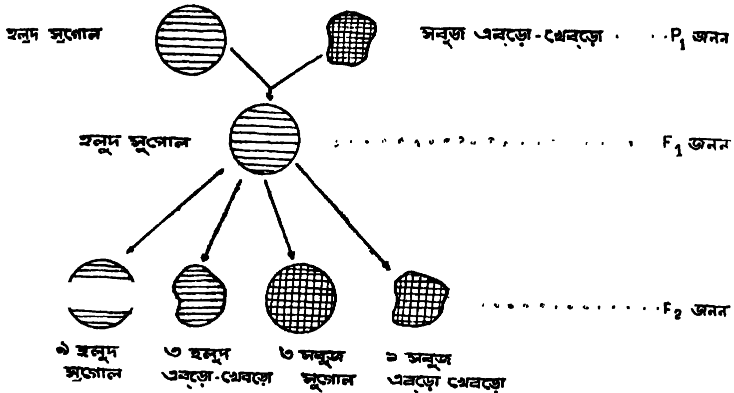
**তিন ॥** হলুদ × সবুজ

৬০২২ টি হলুদ ঃ ২০০১ টি সবুজ $F_2$ জনন।

(এই সংখ্যাগুলির সঙ্গে ৩ঃ১ অনুপাতের পার্থক্য নামমাত্র)।

**মেন্‌ডেলের দ্বিতীয় পর্যায়ের পরীক্ষাঃ** একজোড়া বিপরীত বৈশিষ্ট্য (contrasting characters) সমন্বিত উদ্ভিদের স্থলে দু'জোড়া বিপরীত বৈশিষ্ট্যসমন্বিত মটরশুঁটীর উদ্ভিদ্‌ নিয়ে মেনডেল্‌ প্রজন-সংক্রান্ত আরও কতকগুলি পরীক্ষা চালান। এরূপ পরীক্ষার $F_1$ জননের উদ্ভিদ্‌গুলি দু'টি লোকাসে সংকর (hybrid) বলে তাদের **ডাই-হাইব্রিড** (di-hybrid) আখ্যা দেওয়া হয়। $F_1$ জননের উদ্ভিদ্‌গুলি'তে সেল্ফ্‌-পলিনেশন্‌ ঘটিয়ে মেন্‌ডেল্‌ $F_2$ জননে ৯ঃ৩ঃ৩ঃ১-এর অনুপাতে উদ্ভিদ্‌গুলিকে সৃষ্টি হতে দেখেন। কিভাবে উক্ত অনুপাত লাভ হয় এবং তা থেকে মেন্‌ডেল্‌ কি সিদ্ধান্তে উপনীত হন, তা' মেন্‌ডেলের একটি পরীক্ষা আলোচনা করলেই বোঝা যাবে।

মেন্‌ডেল্‌ একটি অমিশ্রিত হল্‌দ রঙের ও স্‌গোল (round) গঠনের বীজসমন্বিত উদ্ভিদের সঙ্গে একটি অমিশ্রিত সব্‌জ রঙের ও এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো (wrinkled) গঠনের বীজসমন্বিত উদ্ভিদের ক্রস্‌-পলিনেশন্‌



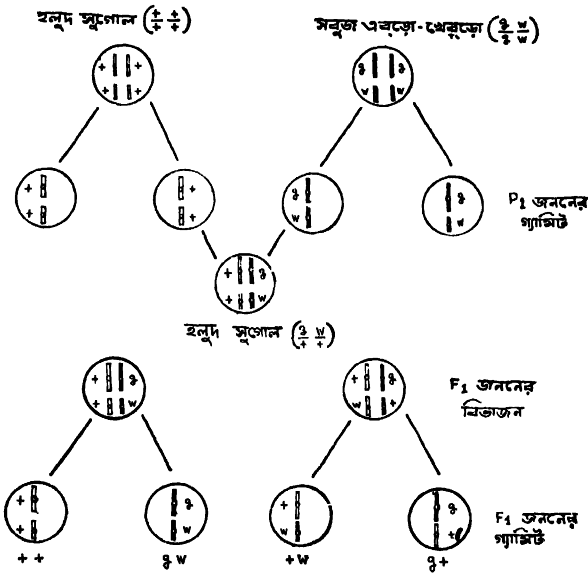

৫ নং চিত্রঃ—মটরশ্‌টীর হল্‌দ স্‌গোল এবং সব্‌জ এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো জাতির মধ্যে ক্রস্‌।

বা ইতর পরাগযোগ সংঘটিত করেন (৫নং চিত্র)। এর ফলে $F_1$ জননে যে উদ্ভিদ্‌গ্‌লির স্‌ষ্টি হয় সেগ্‌লি সবই হল্‌দ ও স্‌গোল বীজ উৎপাদনক্ষম হয় (কেননা, হল্‌দ ও স্‌গোল বৈশিষ্ট্যদ্‌'টি হচ্ছে 'ডমিনান্ট্‌' বা প্রকট বৈশিষ্ট্য এবং সব্‌জ ও এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো 'রিসেসিভ্‌' বা প্রচ্ছন্ন বৈশিষ্ট্য)। $F_1$ জননের উদ্ভিদ্‌গ্‌লিতে সেল্‌ফ্‌-পলিনেশনের ফলে $F_2$ জননে যে উদ্ভিদ্‌গ্‌লির স্‌ষ্টি হয়, সেগ্‌লির অন্‌পাত হয় নিম্নর্‌পঃ—

৯ হল্‌দ স্‌গোলঃ ৩ হল্‌দ এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়োঃ ৩ সব্‌জ স্‌গোলঃ
১ সব্‌জ এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো।

এখন প্রশ্ন হচ্ছে, কিভাবে উক্ত অন্‌পাতে উদ্ভিদ্‌গ্‌লি উৎপাদিত হ'ল? ক্রোমোসোম এবং জীন সম্পর্কে আমাদের বর্তমান ধারণা থেকে অতি সহজেই আলোচ্য অন্‌পাতের ব্যাখ্যা আমরা দিতে পারি। হল্‌দ ও স্‌গোল বৈশিষ্ট্যদ্‌'টি মটরবীজের স্বাভাবিক বৈশিষ্ট্য। সব্‌জ ও এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো বৈশিষ্ট্যদ্‌টি হচ্ছে মিউটেশনের ফল। মিউটেটেড জীনদ্‌'টিই রিসেসিভ্‌ (recessive) এবং ভিন্ন-ভিন্ন ক্রোমোসোমে তদের অবস্থান। মিউটেটেড জীনগ্‌লিকে আমরা *g* (সব্‌জ) ও *w* (এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো) প্রতীক দ্বারা এবং তাদের নর্‌ম্যাল অ্যাল্‌লীলগলিকে + প্রতীক দ্বারা

চিহ্নিত করতে পারি। তাহলে অমিশ্রিত স্বাভাবিক জাতিটির (pure normal race) জীনোটাইপ হ'বে $\frac{+}{+}\ \frac{+}{+}$ (এখানে দু'টি ভিন্ন লোকাসের + প্রতীক দ্বারা দু'টি ভিন্ন নর্‌ম্যাল জীন সূচীত হচ্ছে) এবং অমিশ্রিত সবুজ এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো জাতিটির জীনোটাইপ হবে $\frac{g}{g}\ \frac{w}{w}$ । এই দু'-জাতির মধ্যে প্রজননের মাধ্যমে যে $F_1$ জননের সৃষ্টি হ'বে তাদের প্রত্যেকের জীনোটাইপ হ'বে $\frac{+}{g}\ \frac{+}{w}$ (৬নং চিত্র)।




৬ নং চিত্রঃ—হলুদ ও সবুজ এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়োর ক্রস্‌ এবং তাদের $F_1$ জননে গ্যামিট সৃষ্টি।

$F_1$ জননের উদ্ভিদ্‌গুলিতে গ্যামিট সৃষ্টির কালে মায়োটিক বিভাজন হওয়ার ফলে চার প্রকারের গ্যামিট সৃষ্টি হয়ে থাকে, যথা $++$, $gw$, $+w$ ও $g+$ (৬নং চিত্র)।

এই $F_1$ উদ্ভিদ্‌গুলিতে সেল্‌ফ্‌-পলিনেশন্‌ বা স্ব-পরাগযোগ সংঘটনের কালে পুং ও স্ত্রী গ্যামিটগুলি নানাভাবে মিলিত হয়। দৃষ্টান্তস্বরূপ,

*gw* জীনোটাইপসমন্বিত একটি পুং গ্যামিট চার প্রকার স্ত্রী গ্যামিটের (++, *gw*, +*w*, *g*+) যেকোন একটির সঙ্গে মিলিত হ'তে পারে। ফলে, চার প্রকার নিষিক্ত ডিম গঠিত হওয়া সম্ভব। সেগুলি হচ্ছেঃ $\frac{+}{g}\frac{+}{w}$, $\frac{g}{g}\frac{w}{w}$ $\frac{+}{g}\frac{w}{w}$, $\frac{g}{g}\frac{+}{w}$ (এই সংকেতগুলিতে স্ত্রী-গ্যামিটের জীনগুলিকে রেখাগুলির ওপরে এবং পুং-গ্যামিটের জীনগুলিকে রেখাগুলির নীচে বসানো হয়েছে)। আলোচ্যক্ষেত্রে মোট চার প্রকার পুং গ্যামিটের অস্তিত্ব রয়েছে (++, *gw*, +*w*, *g*+) এবং এদের মধ্যে যেকোন এক প্রকারের পুং গ্যামিট চার প্রকার স্ত্রী গ্যামিটের যেকোন এক প্রকারের সঙ্গে মিলিত হ'তে পারে। ফলে, মোট ১৬টি ভিন্ন-ভিন্ন প্রকারের কম্বিনেশন (combination বা সমবায়) সম্ভব হয়। ৭নং চিত্রে যেরকম দেখানো হয়েছে

| পুং গ্যামিট \ স্ত্রী গ্যামিট | + + | + w | g + | g w |
|---|---|---|---|---|
| + + | $\frac{+}{+}\frac{+}{+}$ হলুদ সুগোল | $\frac{+}{+}\frac{w}{+}$ হলুদ সুগোল | $\frac{g}{+}\frac{+}{+}$ হলুদ সুগোল | $\frac{g}{+}\frac{w}{+}$ হলুদ সুগোল |
| + w | $\frac{+}{+}\frac{+}{w}$ হলুদ সুগোল | $\frac{+}{+}\frac{w}{w}$ হলুদ এবড়ো খেবড়ো | $\frac{g}{+}\frac{+}{w}$ হলুদ সুগোল | $\frac{g}{+}\frac{w}{w}$ হলুদ এবড়ো খেবড়ো |
| g + | $\frac{+}{g}\frac{+}{+}$ হলুদ সুগোল | $\frac{+}{g}\frac{w}{+}$ হলুদ সুগোল | $\frac{g}{g}\frac{+}{+}$ সবুজ সুগোল | $\frac{g}{g}\frac{w}{+}$ সবুজ সুগোল |
| g w | $\frac{+}{g}\frac{+}{w}$ হলুদ সুগোল | $\frac{+}{g}\frac{w}{w}$ হলুদ এবড়ো-খেবড়ো | $\frac{g}{g}\frac{+}{w}$ সবুজ সুগোল | $\frac{g}{g}\frac{w}{w}$ সবুজ এবড়ো-খেবড়ো |

৭ নং চিত্রঃ—হলুদ সুগোল এবং সবুজ এব্ড়ো-খেব্ড়োর ক্রস্ থেকে ৯ঃ৩ঃ ৩ঃ১ অনুপাত লাভের চিত্রসংকেত।

সেরকম একটি ছক কেটে তার ওপরের দিকে চার প্রকারের স্ত্রী গ্যামিটকে এবং বাঁদিকে চার প্রকার পুং গ্যামিটকে বসিয়ে সম্ভাব্য কম্বিনেশনগুলিকে সহজেই নিরূপণ করা যায়। এরকম ছককে 'চেকারবোর্ড' (checkerboard) বলা হয়।

৭নং চিত্রের প্রতিটি কম্বিনেশন জীনোটাইপ অনুযায়ী প্রতিটি থেকে ভিন্ন নয়। যেমন, $\frac{g}{+}\frac{w}{+}$ কম্বিনেশনে [ প্রথম অনুভূমিক (horizontal) সারির চতুর্থ বর্গটিতে ] এবং $\frac{+}{g}\frac{+}{w}$ কম্বিনেশনে (চতুর্থ অনুভূমিক সারির প্রথম বর্গে) একইপ্রকার জীন রয়েছে। ফলে, তারা একইপ্রকার বৈশিষ্ট্যযুক্ত (হলুদ সুগোল) উদ্ভিদের সৃষ্টি করবে। মোটকথা, ৭নং চিত্রের ছকটিকে সতর্কতার সঙ্গে পরীক্ষা করলে দেখা যাবে তাতে ৯ঃ৩ঃ ৩ঃ১ অনুপাতে চারটি ফীনোটাইপের (হলুদ সুগোল, হলুদ এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো, সবুজ সুগোল, সবুজ এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো) অস্তিত্ব রয়েছে। মেন্‌ডেল-ও উক্ত অনুপাতেই $F_2$ জননে উপরোল্লিখিত চার প্রকারের উদ্ভিদ্‌কে সৃষ্টি হ'তে দেখেছিলেন।

উপরোদ্ধৃত পরীক্ষার এবং ঐ প্রকারের আরও কয়েকটি পরীক্ষার ফলকে সযত্ন-বিশ্লেষণের দ্বারা মেন্‌ডেল যে সিদ্ধান্তে উপনীত হন, সেটি হেরিডিটি বা বংশগতি সম্পর্কে মেন্‌ডেলের দ্বিতীয় সূত্র রূপে পরিচিত। সূত্রটি নিম্নরূপঃ—

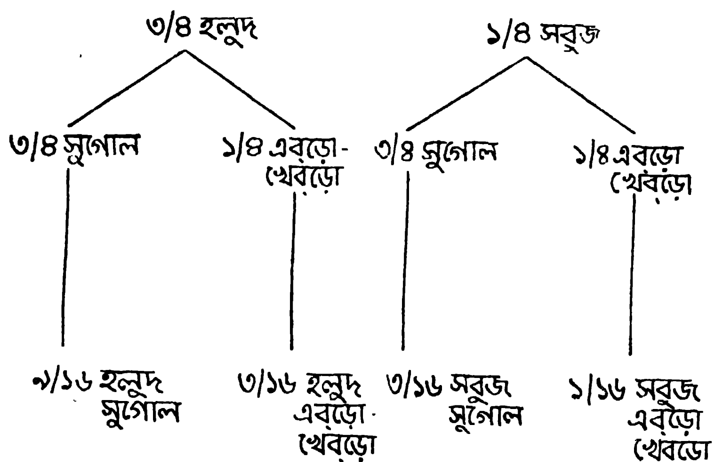
**(২) ইণ্ডিপেণ্ডেণ্ট্‌ অ্যাসর্টমেণ্টের সূত্র** (Law of independent assortment বা স্বাধীন-বিন্যাসের সূত্র)ঃ—কোন একজোড়া বৈশিষ্ট্য (অর্থাৎ জীন) তাদের পৃথগ্‌ভবনের ব্যাপারে অন্য কোন জোড়ার ওপর নির্ভরশীল নয়—এব্যাপারে তারা সম্পূর্ণ স্বাধীন।

একজোড়া বৈশিষ্ট্য অন্যজোড়া বৈশিষ্ট্য থেকে সম্পূর্ণ স্বাধীনভাবে পৃথক হ'তে পারে বলেই $F_1$ জননের ডাই-হাইব্রিডগুলি চার প্রকার ক'রে গ্যামিট সৃষ্টি করতে পারে। পৃথগ্‌ভবনের ক্ষেত্রে একজোড়া অপর-জোড়ার ওপর নির্ভরশীল হ'লে ডাই-হাইব্রিডগুলি দু'প্রকারের বেশী গ্যামিট সৃষ্টি করতে পারতো না।

**৯ঃ৩ঃ৩ঃ১ অনুপাত নির্ণয়ের প্রত্যক্ষ পদ্ধতিঃ** উপরি-উক্ত ৯ঃ৩ঃ৩ঃ১ অনুপাতের সবক'টি হলুদ এবং সবক'টি সবুজের সংখ্যা যোগ করলে দেখা যাবে তাদের অনুপাত হচ্ছে ১২ হলুদঃ ৪ সবুজ; অর্থাৎ, ৩ হলুদ ঃ ১ সবুজের সমতুল। সবকটি সুগোল এবং সবক'টি এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়োর সংখ্যা যোগ করলে দেখা যাবে যে তাদেরও অনুপাত ৩ (সুগোল) ঃ ১ (এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো), অর্থাৎ 'মনোহাইব্রিড ক্রসের' সমতুল। তাহলে দেখা যাচ্ছে, ডাইহাইব্রিড ক্রসের দ্বারা উৎপাদিত উদ্ভিদ্‌গুলিতে প্রতিটি বৈশিষ্ট্য পৃথক্‌ভাবে (বীজের বর্ণ বা গঠন) বিবেচনা করলে তাদের অনুপাত দাঁড়ায় ৩ঃ১। কিন্তু, দু'টি বৈশিষ্ট্যকে একসাথে

বিবেচনা ক'রে উদ্ভিদ্‌গুলিকে শ্রেণীবদ্ধ করলে তাদের অনুপাত দাঁড়ায় ৯ঃ৩ঃ৩ঃ১।

$F_2$ জননে প্রতিটি লোকাস্‌ ৩ঃ১ অনুপাত প্রদান করে। এই তথ্যটির ওপর ভিত্তি ক'রে দু'টি লোকাসের অনুপাতের সংযুক্তির মাধ্যমে ৯ঃ৩ঃ৩ঃ১ অনুপাতটিকে আমরা প্রত্যক্ষভাবে পেতে পারি। কেননা, $F_2$ জননে ৩ সবুজঃ ১ হলুদ অনুপাতটির দ্বারা যা' প্রকাশিত হয়, ¾ সবুজ এবং ¼ হলুদের দ্বারাও তা'ই বোঝায়। অতএব, $F_2$ জননের প্রতি ১৬টি উদ্ভিদের মধ্যে ¾ অংশ বা গড়ে ১২টি উদ্ভিদ্‌ হলুদ বীজ প্রদান করবে এবং ¼ অংশ বা গড়ে ৪টি উদ্ভিদ্‌ সবুজ বীজ প্রদান করবে (৮নং চিত্র)। আবার, ১২টি হলুদ বীজ-প্রদানকারী উদ্ভিদের মধ্যে




৮ নং চিত্রঃ—৯ঃ৩ঃ৩ঃ১ অনুপাত নির্ণয়ের প্রত্যক্ষ পদ্ধতি।

¾ অংশ হ'বে সুগোল বীজ-প্রদানকারী এবং ¼ অংশ হ'বে এবড়ো-খেবড়ো বীজ-প্রদানকারী। ফলে ৯ হলুদ সুগোলঃ ৩ সবুজ এবড়ো-খেবড়ো অনুপাতটি পাওয়া যাবে। ঐভাবেই, ৪টি সবুজ বীজ-প্রদানকারী উদ্ভিদের মধ্যে ¾ অংশ হ'বে সুগোল বীজ-প্রদানকারী এবং ¼ অংশ হ'বে এবড়ো-খেবড়ো বীজ-প্রদানকারী। ফলে ৩ সবুজ সুগোলঃ ১ সবুজ এবড়ো-খেবড়ো অনুপাতটিকে পাওয়া যাবে।

অতএব দেখা যাচ্ছে, ৯ঃ৩ঃ৩ঃ১ অনুপাতটি চেকারবোর্ডের অথবা ৮নং চিত্রে প্রদর্শিত উপায়ের যেকোন একটির দ্বারা নির্ণয় করা সম্ভব।

প্রতি লোকাসের ৩ ঃ ১ অনুপাতের সংযোগে ৮নং চিত্রে প্রদর্শিত উপায়ে ৯ ঃ ৩ ঃ ৩ ঃ ১ অনুপাত লাভের পদ্ধতিটিকে 'প্রত্যক্ষ পদ্ধতি (direct method) এবং চেকারবোর্ড পদ্ধতিটিকে 'অপ্রত্যক্ষ পদ্ধতি' (indirect method) বলা হয়।

**মেন্‌ডেলের তথ্যগুলির যুক্তিসিদ্ধতা** (Validity of Mendel's principles) ঃ মেন্‌ডেলের প্রথম সূত্রটি (সেগ্রিগেশনের সূত্র) সম্পূর্ণরূপে অভ্রান্ত। এখনও পর্যন্ত কোনক্ষেত্রেই অ্যালীলের মিশ্রণের কথা শোনা যায় নি।

মেন্‌ডেলের দ্বিতীয় সূত্রটি (ইণ্ডিপেণ্ডেণ্ট্‌ অ্যাসর্টমেণ্টের সূত্র) সর্বাংশে নির্ভুল নয়। একজোড়া জীন সবসময়েই অন্যজোড়া থেকে স্বাধীনভবে পৃথক্‌ হ'তে পারে না, যেহেতু অনেক জীন-ই (একই ক্রোমোসোমের জীনগুলি) পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত থাকে। এই লিঙ্ক্‌ড্‌ জীনগুলির (linked genes বা সংযোজিত জীনগুলির) একটি অপরটি থেকে স্বাধীনভাবে পৃথ্‌ক হ'তে পারে না। তবে, ভিন্ন ক্রোমোসোমে অবস্থিত জীনগুলির স্বাধীনভাবে পৃথগ্‌ভবন ঘটতে পারে।

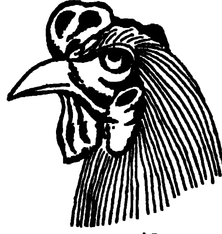
**জীন-এর ইণ্টারঅ্যাক্‌শন** (Interaction of genes বা জীন-এর পারস্পরিক ক্রিয়া) ঃ 'সেগ্রিগেশনের সূত্র' এবং 'ইণ্ডিপেণ্ডেণ্ট্‌ অ্যাসর্টমেণ্টের সূত্র' মাত্র কয়েকপ্রকার সংকরজাতীয় জীবের (উদাহরস্বরূপ, যেপ্রকার জীব নিয়ে মেন্‌ডেল্‌ তাঁর পরীক্ষাকাজ চালিয়েছিলেন তাদের মত) ক্ষেত্রে প্রযোজ্য বলে বোধ হয়। অন্যান্য ক্রসের ক্ষেত্রে, যেমন দু'টি ভিন্ন স্পিসিসের (species বা প্রজাতি) মধ্যে সংঘটিত ক্রস্‌, অথবা দু'টি এমন প্রাণী বা উদ্ভিদের মধ্যেকার ক্রস্‌ যেখানে প্রাণী বা উদ্ভিদ্‌-দু'টির বৈশিষ্ট্যগুলি পরিমাণগতভাবে (quantitatively) ভিন্ন, সে'সকল ক্ষেত্রে ইন্‌হেরিট্যান্সের নিয়মটি ভিন্নরূপ হতে দেখা যায়। এ-ধরণের ইন্‌হেরিট্যান্স্‌কে 'ব্লেণ্ডিং ইন্‌হেরিট্যান্স্‌' (blending inheritance) বা 'নন্‌-মেন্‌ডেলিয়ান ইন্‌হেরিট্যান্স্‌' (non-Mendelian inheritance) বা 'কম্‌প্লেক্স ইন্‌হেরিট্যান্স্‌' (complex inheritance) বলা হয়ে থাকে। বাস্তবিকপক্ষে, পূর্ণ ডমিনান্স্‌ (full dominance), ইণ্ডিপেণ্ডেণ্ট্‌ অ্যাসর্টমেণ্ট্‌ এবং বিভিন্ন জীনের ক্রিয়ার দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবন্ধকতার অনুপস্থিতির (absence of interfering effects of other genes) ফলে লব্ধ ৩ ঃ ১ এবং ৯ ঃ ৩ ঃ ৩ ঃ ১ মেন্‌ডেলিয়ান অনুপাত (Mendelian ratio), সমস্ত ক্রস্‌ থেকেই পাওয়া যায় না। এটা জানা গেছে যে, অধিকাংশ ক্ষেত্রেই মেন্‌ডেলিয়ান অনুপাতের

ব্যতিক্রমের মূলে আছে দু'জোড়া বা তদোধিক জোড়া জীনের ইণ্টার-অ্যাক্‌শন। বিশেষ-বিশেষ ক্ষেত্রে ইণ্টারঅ্যাক্‌শনের ধরণের ওপর নির্ভর ক'রে এবং হেরিডিটি সম্পর্কে মেন্‌ডেলের মূল নিয়মটিকে অনুসরণ করে (যথা, প্রতি লোকাসের বিপরীত বৈশিষ্ট্যগুলি গ্যামিট সৃষ্টির কালে পরস্পর হ'তে পৃথক্ হয়ে যায়), অনুপাতগুলিকে বিভিন্নভাবে পরিবর্তিত হ'তে দেখা গেছে। নীচে জীনের ইণ্টারঅ্যাক্‌শন্ এবং তার ফলে মেন্‌ডেলের মূল অনুপাতের পরিবর্তনের কয়েকটি ঘটনা বিবৃত হ'ল।

**মোরগ-মুরগীর 'কোম'-এর গঠন (দু'জোড়া অ্যালীল কর্তৃক একই বৈশিষ্ট্যকে প্রভাবিত করার ঘটনা)**ঃ মেন্‌ডেল্ সম্পাদিত হলুদ সুগোল এবং সবুজ এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো মটরশুঁটীর মধ্যেকার ক্রসের পর্যালোচনাকালে আমরা দেখেছি, দু'জোড়া জীনের প্রতি জোড়াটির দ্বারা আলাদা-আলাদা বৈশিষ্ট্য প্রভাবিত হয়েছিল। একজোড়ার প্রভাব ছিল বীজের 'বর্ণের' ওপর (তা' হলুদ হ'বে না সবুজ হ'বে) এবং অপরজোড়ার প্রভাব ছিল বীজের 'গঠনের' ওপর (সেটা সুগোল হ'বে না এব্‌ড়ো-খেব্‌ড়ো হবে তা' নিরূপণ করা)। প্রথম অধ্যায়ে উল্লেখ করা হয়েছে, প্রতিটি বৈশিষ্ট্য সাধারণত অসংখ্য জীনের সম্মিলিত ক্রিয়ার ফলে নিরূপিত হয়। জীনের এই সম্মিলিত ক্রিয়ার (combined actions) বা পারস্পরিক ক্রিয়ার (interactions) কথা **বেট্‌সন্ ও পানেট** (Bateson and Punnett) নামক দু'জন ইংরাজ জীনতাত্ত্বিক কর্তৃক সংঘটিত কয়েকটি ক্রসের মাধ্যমে প্রকাশ পায়। উক্ত দু'জন বিজ্ঞানী মোরগের মাথার 'কোম' (comb) বা ঝুঁটির ইন্‌হেরিট্যান্স্ পদ্ধতি সম্পর্কে পরীক্ষা-নিরীক্ষা চালিয়ে জানতে পারেন, প্রতিটি মোরগের ঝুঁটি কিরকমের হ'বে তা' দু'জোড়া জীনের সম্মিলিত ক্রিয়ার ফলে নিরূপিত হয়।

ঝুঁটির গঠন অনুসারে মোরগকুলকে কয়েকটি গোষ্ঠীতে ভাগ করা যায়। অধিকাংশ মোরগে যে-প্রকার ঝুঁটি দেখা যায় তা'র নাম দেওয়া হয়েছে 'সিঙ্গল্' (single) [ ৯ নং চিত্র ]। এটাই স্বাভাবিকধরণের ঝুঁটি বা 'নর্‌ম্যাল কোম' (normal comb), যেহেতু অধিকাংশ মোরগেই এরূপ ঝুঁটি দেখা যায়। সিঙ্গল্ ছাড়া অন্যান্য যেসব রকমের ঝুঁটি দেখা যায় সেগুলি হচ্ছে, 'পি' (pea),' রোস্' (rose) এবং 'ওয়ালনাট' (walnut) [ ৯ নং চিত্র ]।

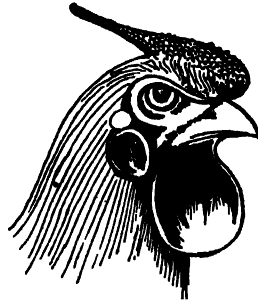
'পি' ও 'রোস্' জাতীয় ঝুঁটির মূলে আছে দু'টি ডমিনাণ্ট্ মিউটেশন্। ঐ মিউটেটেড জীনদু'টির অবস্থিতি পৃথক্-পৃথক্ ক্রোমোসোমে। যে মিউটেটেড জীনটির প্রভাবে 'পি' ঝুঁটির সৃষ্টি হয় তা'কে P প্রতীক দ্বারা










৯ নং চিত্র ঃ—মোরগের ঝুঁটির বিভিন্ন ধরণ।

এবং যেটির প্রভাবে 'রোস্‌' ঝুঁটির সৃষ্টি হয় তাকে R প্রতীক দ্বারা এবং তাদের নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌গুলিকে + প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করলে 'পি' ঝুঁটি-সমন্বিত একটি অমিশ্রিত (pure) মোরগ বা মুরগীর জীনোটাইপ হবে $\frac{P}{P} \frac{+}{+}$ (P + এবং P + -এর মধ্যবর্তী ভগ্ন রেখাটির দ্বারা দুটি পৃথক্‌ ক্রোমোসোমকে বোঝানো হচ্ছে)। তেমনি, 'রোস্‌' ঝুঁটি-সমন্বিত একটি অমিশ্রিত মোরগ বা মুরগীর জীনোটাইপ হবে $\frac{+}{+} \frac{R}{R}$ । মিউটেটেড

জীনদ্'টির (P ও R) সম্মিলিত ক্রিয়ায় 'ওয়ালনাট' ঝুঁটির সৃষ্টি হয়। অতএব, 'ওয়ালনাট' ঝুঁটি-সমন্বিত একটি অমিশ্রিত মোরগ বা মুরগীর জীনোটাইপ হবে $\frac{P}{P}\frac{R}{R}$ ।

বেট্‌সন্ ও পানেট তাঁদের পরিচালিত ক্রস্ থেকে পাওয়া ফলের সুষ্ঠু বিচার-বিশ্লেষণের দ্বারা বিভিন্ন-ধরণের ঝুঁটির উৎপত্তি সম্পর্কে উপরি-উক্ত অনুচ্ছেদে বর্ণিত তথ্যাদির আভাস দেন। বেট্‌সন্ ও পানেটের ক্রস্‌গুলি ছিল নিম্নরূপ :

এক॥ অমিশ্রিত 'পি' ঝুঁটি-সমন্বিত একটি মোরগ বা মুরগীর সঙ্গে অমিশ্রিত 'রোস্' ঝুঁটি-সমন্বিত একটি মোরগ বা মুরগীর ক্রস্ করে $\left(\frac{P}{P}\frac{+}{+}\times\frac{+}{+}\frac{R}{R}\right)$ $F_1$ জননে তাঁরা যে শাবকগুলি লাভ করেন $\left(\frac{P}{+}\frac{+}{R}\right)$ সেগুলির সবক'টিই ছিল 'ওয়ালনাট' ঝুঁটিযুক্ত। এই ঘটনা থেকে ইঙ্গিত পাওয়া যায় যে, 'ওয়ালনাট' ঝুঁটি P এবং R-এর সম্মিলিত ক্রিয়ার ফল।

উপরিউক্ত $F_1$ জননের প্রাণিগুলির মধ্যে ক্রস্ সংঘটিত করে প্রতিটি ক্রস্ থেকে তাঁরা ৯ঃ৩ঃ৩ঃ১ অনুপাতে সন্তান-সন্ততি জন্মলাভ করতে দেখেন। অতএব, এক্ষেত্রে সন্তান-সন্ততির অনুপাত 'ডাইহাইব্রিড ক্রস্' থেকে পাওয়া অনুপাতের অনুরূপ। এই ঘটনা থেকে বোঝা যায়, ঝুঁটির আকার দু'টি লোকাসের সক্রিয়তায় নির্ধারিত হয়। আলোচ্য ক্রসে কিভাবে ৯ঃ৩ঃ৩ঃ১ অনুপাতটি পাওয়া যায় তা' নীচে ব্যাখ্যা করা হ'ল।

$F_1$ জননের প্রতিটি প্রাণী $\left(\frac{P}{+}\frac{+}{R}\right)$ চার শ্রেণীর গ্যামিট সৃষ্টি করে, যথা, P+, PR, +R, ++ । অতএব, এরকম দু'টি প্রাণীর মধ্যে ক্রস্ সংঘটিত হলে শুক্রাণু ও ডিম্বাণুগুলির, ডাইহাইব্রিড ক্রসে যেমনটি হয় তেমন, ১৬টি বিভিন্নরূপ কম্বিনেশন হ'তে পারে। এই কম্বিনেশন-গুলিকে একটি চেকারবোর্ডের সাহায্যে সহজেই নির্ণয় করা যায় (১০নং চিত্র)। এই ১৬ প্রকার কম্বিনেশনের কতকগুলির মধ্যে দু'টি মিউটান্ট জীনেরই (P এবং R) অস্তিত্ব থাকে এবং তা'রা 'ওয়ালনাট' ঝুঁটিবিশিষ্ট হয়; কতকগুলিতে মিউটান্ট জীনদু'টির মধ্যে যেকোন একটির অস্তিত্ব থাকে (হয় P, নাহয় R) এবং সেই অনুযায়ী তাদের ঝুঁটি 'পি' অথবা 'রোস্' ধরণের হয়ে থাকে। অবশিষ্ট কম্বিনেশনগুলিতে মিউটান্ট জীন-দু'টির কোনটিরই অস্তিত্ব থাকে না; ফলে তা'রা স্বাভাবিক 'সিঙ্গল্'

| | P+ | PR | +R | ++ |
|---|---|---|---|---|
| P+ | $\frac{P}{P}\ \frac{+}{+}$ পি | $\frac{P}{P}\ \frac{R}{+}$ ওয়ালনাট | $\frac{+}{P}\ \frac{R}{+}$ ওয়ালনাট | $\frac{+}{P}\ \frac{+}{+}$ পি |
| PR | $\frac{P}{P}\ \frac{+}{R}$ ওয়ালনাট | $\frac{P}{P}\ \frac{R}{R}$ ওয়ালনাট | $\frac{+}{P}\ \frac{R}{R}$ ওয়ালনাট | $\frac{+}{P}\ \frac{+}{R}$ ওয়ালনাট |
| +R | $\frac{P}{+}\ \frac{+}{R}$ ওয়ালনাট | $\frac{P}{+}\ \frac{R}{R}$ ওয়ালনাট | $\frac{+}{+}\ \frac{R}{R}$ রোস্‌ | $\frac{+}{+}\ \frac{+}{R}$ রোস্‌ |
| ++ | $\frac{P}{+}\ \frac{+}{+}$ পি | $\frac{P}{+}\ \frac{R}{+}$ ওয়ালনাট | $\frac{+}{+}\ \frac{R}{+}$ রোস্‌ | $\frac{+}{+}\ \frac{+}{+}$ সিঙ্গল্‌ |

১০ নং চিত্র ঃ—$F_1$ জননের ওয়ালনাট প্রাণিদের মধ্যে ক্রসের দ্বারা $F_2$ জননে প্রাপ্ত কম্বিনেশনগুলি।

ঝুঁটিবিশিষ্ট হয়। এখন বিভিন্নপ্রকারের ঝুঁটিবিশিষ্ট প্রাণীর সংখ্যা গণনা করলে দেখা যাবে যে তাদের অনুপাত হয়েছে এইরকম — ৯ ওয়ালনাট ঃ ৩ পি ঃ ৩ রোস্‌ ঃ ১ সিঙ্গল্‌।

দুই ॥ আবার, 'অমিশ্রিত ওয়ালনাট' (pure walnut) এবং 'অমিশ্রিত সিঙ্গল্‌' (pure single) মোরগ-মুরগীর মধ্যে ক্রস্‌ ঘটিয়ে $\frac{P}{P}\ \frac{R}{R} \times \frac{+}{+}\ \frac{+}{+}$ বেট্‌সন ও পানেট $F_1$ জননে যে শাবকগুলিকে লাভ করেন $\frac{P}{+}\ \frac{R}{+}$ সেগুলির সবক'টিই ছিল 'ওয়ালনাট' ঝুঁটিবিশিষ্ট, যেহেতু P এবং R উভয়েই তাদের নরম্যাল অ্যালীলের ওপর ডমিনান্ট।

সদ্য উল্লিখিত $F_1$ জননের প্রাণিগুলির মধ্যে ক্রস্‌ সংঘটিত করেও প্রতিটি ক্ষেত্রে ঐ দু'জন বিজ্ঞানী পুনরায় ডাইহাইব্রিড ক্রসের অনুরূপ অনুপাত (৯ ঃ ৩ ঃ ৩ ঃ ১) লাভ করেন। এর দ্বারাও বোঝা গেল যে, ঝুঁটির আকার দু'টি লোকাসের সক্রিয়তায় নির্ধারিত হয়।

**মিষ্ট মটরশুঁটীর** (Sweet pea) **ফুলের রঙ** (৯ ঃ ৭ **অনুপাত**) ঃ 'ল্যাথাইরাস ওডোরেটাস' (*Lathyrus odoratus*) নামক মটরশুঁটীর

ফ্লের স্বাভাবিক রঙ বেগ্নী। সাদা ফ্লবিশিষ্ট দ্'টি গোষ্ঠীর অস্তিত্বও ঐ স্পিসিসের মধ্যে দেখা যায়। তাদের যথাক্রমে '$a$' গোষ্ঠী ও '$b$' গোষ্ঠী বলা যেতে পারে। **বেট্সন্** ও **পানেট** তাঁদের পরীক্ষার দ্বারা জানতে পারেন, বেগ্নী রঙটি ডমিনাণ্ট এবং সাদা রঙটি রিসেসিভ্ ধরণের। ফলে, বেগ্নী ও যেকোন একটি সাদা গোষ্ঠীর মধ্যে ক্রস্ সংঘটিত হ'লে $F_1$ জননে ৩ (বেগ্নী) ঃ ১ (সাদা) মেন্ডেলিয়ান অন্পাত পাওয়া যায়। তাঁরা আরও লক্ষ্য করেন যে, প্রতিটি সাদা গোষ্ঠী থেকে কেবলমাত্র সাদা পুষ্প-প্রদানকারী উদ্ভিদের উৎপত্তি হয় এবং দ্'টি সাদা গোষ্ঠীর মধ্যে ক্রস্ সংঘটিত হ'লেও (সাদা $a$ × সাদা $b$) যেসকল উদ্ভিদের উদ্ভব হয় (ab) তারাও সাদা পুষ্প প্রদান করে।

$a$ ও $b$ গোষ্ঠীর প্রতিটিতে ফ্লের সাদা রঙটির মূলে আছে একটি রিসেসিভ্ মিউটেশন এবং আলোচ্য মিউটেশনদ্'টি পৃথক্-পৃথক্ ক্রোমোসোমে অবস্থিত। মিউটেশনগ্লিকে আমরা $a$ ও $b$ প্রতীক দ্বারা এবং তাদের নর্ম্যাল অ্যালীল্গ্লিকে + প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করতে পারি। সেক্ষেত্রে বিভিন্ন অমিশ্রিত (pure) গোষ্ঠীর গ্যামিটগ্লি হ'বে এইরকম ঃ— + + (বেগ্নী), $a$ + (সাদা $a$ গোষ্ঠী), + $b$ (সাদা b গোষ্ঠী) $ab$ (দ্'টি মিউটান্ট জীনের সমন্বয়ে তৃতীয় প্রকার সাদা গোষ্ঠী $ab$) এবং তাদের জীনোটাইপ হ'বে যথাক্রমে $\frac{+\ +}{+\ +}, \frac{a\ +}{a\ +}, \frac{+\ b}{+\ b}, \frac{a\ b}{a\ b}$ ।

$a$ এবং $b$ মিউটেশনদ্'টির দ্বারা একইপ্রকার ফীনোটাইপের (সাদা) সৃষ্টি হওয়াটা আশ্চর্যজনক বোধ হ'লেও তা' মোটেই অসম্ভব নয়। কেননা, সাদা রঙের উৎপত্তি হয় "পিগ্মেন্ট"-এর (pigments বা রঙ্গক) অভাবে এবং সেই পিগ্মেন্টের উৎপত্তি নানাভাবে বাধাপ্রাপ্ত হ'তে পারে। জীনদ্'টি দ্'টি পৃথক্ পন্থায় পিগ্মেন্ট সৃষ্টিতে বাধা ঘটাতে পারে। ব্যাপারটিকে একটি উদ্ভিদের মূল (root) অথবা তার পাতাগ্লিকে (leaves) বিনাশের দ্বারা মৃত্যু ঘটানোর সঙ্গে তুলনা করা যেতে পারে। উভয়ক্ষেত্রেই উদ্ভিদ্টির মৃত্যু ঘটছে, কিন্তু মৃত্যুর কারণ দ্'টি ক্ষেত্রে দ্'রকম। ফ্লের বেগ্নী রঙের জন্য দ্'টি নর্ম্যাল অ্যালীলেরই (দ্'টি আলাদা ক্রোমোসোমে অবস্থিত) প্রয়োজন। এরকম দ্'টি জীনকে, যাদের প্রত্যেকের কাজ একইরকম (এক্ষেত্রে বেগ্নী রঙের উৎপাদনে সাহায্য করা) এবং একই ফীনোটাইপ সৃষ্টিতে (এক্ষেত্রে বেগ্নী রঙের ফ্ল) যাদের পরস্পরকে প্রয়োজন হয়, তাদের 'কম্প্লিমেন্টারী জীন' (complementary genes) বলা হয়।

দু'টি অমিশ্রিত সাদা গোষ্ঠীর মধ্যে ক্রস্‌ সংঘটিত হ'লে $\frac{a}{a}\frac{+}{+} \times \frac{+}{+}\frac{b}{b}$ $F_1$ জননের উদ্ভিদ্‌গুলির জীনোটাইপ হয় $\frac{a}{+}\frac{+}{b}$। + অ্যালীল্‌গুলি ডমিনাণ্ট হওয়ার জন্য এই উদ্ভিদ্‌গুলিকে বেগুনী পুষ্পশোভিত হতে দেখা যায়। এরা ৪ প্রকার গ্যামিট ($a$+, +b, ++, $ab$) সৃষ্টি করে এবং এদের মধ্যে সেল্‌ফ্‌-ফার্টিলাইজেশন (self-fertilization বা স্ব-নিষেক) ঘটলে ঐ চারপ্রকার গ্যামিট থেকে ১৬ প্রকার কম্বিনেশনের (combinations বা সমবায়) সৃষ্টি হয়। নীচের চেকারবোর্ডে তা' প্রকাশ করা হ'ল।

| | a+ | +b | ++ | a b |
|---|---|---|---|---|
| a+ | $\frac{a}{a}\frac{+}{+}$ সাদা | $\frac{+}{a}\frac{b}{+}$ বেগুনী | $\frac{+}{a}\frac{+}{+}$ বেগুনী | $\frac{a}{a}\frac{b}{+}$ সাদা |
| +b | $\frac{a}{+}\frac{+}{b}$ বেগুনী | $\frac{+}{+}\frac{b}{b}$ সাদা | $\frac{+}{+}\frac{+}{b}$ বেগুনী | $\frac{a}{+}\frac{b}{b}$ সাদা |
| ++ | $\frac{a}{+}\frac{+}{+}$ বেগুনী | $\frac{+}{+}\frac{b}{+}$ বেগুনী | $\frac{+}{+}\frac{+}{+}$ বেগুনী | $\frac{a}{+}\frac{b}{+}$ বেগুনী |
| a b | $\frac{a}{a}\frac{+}{b}$ সাদা | $\frac{+}{a}\frac{b}{b}$ সাদা | $\frac{+}{a}\frac{+}{b}$ বেগুনী | $\frac{a}{a}\frac{b}{b}$ সাদা |

এটা লক্ষ্য করা গেছে যে, ডাইহাইব্রিড ক্রসের $F_2$ জননের অনুপাতটিকে সংক্ষেপে এইভাবে প্রকাশ করা যায়ঃ ৯ $XY$ ঃ ৩$Xy$ ঃ ৩ $xY$ ঃ ১ $xy$, যেখানে $X$ এবং $Y$ হচ্ছে দু'টি ডমিনাণ্ট জীন, এবং $x$ ও $y$ হচ্ছে দু'টি রিসেসিভ্‌ জীন। আলোচ্যক্ষেত্রে $X$ এবং $Y$-এর জায়গায় + ও + এবং $x$ ও $y$-এর জায়গায় $a$ ও $b$-কে বসালে উপরি-উক্ত সংকেতটির (formula) আকার দাঁড়ায়, ৯ ++ ঃ ৩ +$b$ ঃ ৩ $a$+ ঃ ১ $ab$। প্রথম শ্রেণীটির (৯ ++) রঙ্‌ হয় বেগুনী, কেননা, তাতে দু'টি নরম্যাল অ্যালীল্‌ উপস্থিত

আছে এবং তারা উভয়েই ডমিনাণ্ট; দ্বিতীয় শ্রেণীটি (৩ + $b$) হয় সাদা, কেননা, তাতে $b$ প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত সাদা অ্যালীল্‌টি অমিশ্রিত অবস্থায় বর্তমান (আগের পৃষ্ঠার চেকারবোর্ডের দ্বিতীয় অনুভূমিক সারির ২য় ও ও ৪র্থ বর্গটিতে এবং চতুর্থ অনুভূমিক সারির ২য় বর্গটিতে); তৃতীয় শ্রেণীটিও (৩ $a$+) হয় সাদা, কেননা, তাতে $a$ প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত সাদা অ্যালীল্‌টি অমিশ্রিত অবস্থায় বর্তমান (চেকারবোর্ডের প্রথম অনুভূমিক সারির ১ম ও ৪র্থ বর্গটিতে এবং চতুর্থ অনুভূমিক সারির ১ম বর্গটিতে); চতুর্থ শ্রেণীটিও হয় সাদা, কেননা, তাতে $a$ এবং $b$ অ্যালীল্‌দুটির প্রত্যেকটিই অমিশ্রিত অবস্থায় আছে (চেকারবোর্ডের চতুর্থ অনুভূমিক সারির ৪র্থ বর্গটিতে)।

আলোচ্য ক্রসের উপরি-উক্ত সংক্ষিপ্ত জীনোটিপিক অনুপাতের সঙ্গে ফীনোটিপিক অনুপাতটিকে যুক্ত করলে তা' দাঁড়ায় এইরকমঃ ৯ + + (বেগুনী) ঃ ৩ + b (সাদা) ৩ a + (সাদা) ঃ ১ $ab$ (সাদা)। অতএব, $F_2$ জননের ফীনোটিপিক অনুপাতটি দাঁড়াচ্ছে, ৯ বেগুনী ঃ ৭ সাদা এবং এটা নিঃসন্দেহে ৯ ঃ ৩ ঃ ৩ ঃ ১ অনুপাতের একটি 'পরিবর্তিত রূপ' (modified form)।

**মোরগ-মুরগীর পালকের রঙ্** *(১৩ ঃ ৩ অনুপাত)* ঃ বেট্‌সন্ ও পানেট ৯ ঃ ৩ ঃ ৩ ঃ ১ অনুপাতের আর একটি পরিবর্তিত রূপের আবিষ্কার করেন মোরগ-মুরগীর মধ্যে। স্বাভাবিকক্ষেত্রে মোরগ-মুরগীর পালকগুলি রঙীন (coloured) হয়ে থাকে। মিউটেশনের ফলে তাদের পালকের রঙ কখনও-কখনও সাদা হয়। কমপক্ষে দু'টি এরকম মিউটেশনের কথা জানা গেছে। তাদের মধ্যে একটি দেখা যায় 'লেগহর্ণ' (Leghorn) গোষ্ঠীর মোরগ-মুরগীতে এবং এই মিউটেশনটি তার নর্‌ম্যাল অ্যালীলের ওপর ডমিনাণ্ট। অপর মিউটেশনটিকে লেগহর্ণ ছাড়া অন্যান্য গোষ্ঠীর মোরগ-মুরগীতে দেখা হয় এবং সেটির প্রকৃতি রিসেসিভ্। ডমিনান্ট সাদাটিকে আমরা $A$ প্রতীক দ্বারা, রিসেসিভ্ সাদাটিকে $b$ প্রতীক দ্বারা এবং তাদের নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌গুলিকে + প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করতে পারি। এটা জানা গেছে যে মিউটান্ট জীনদু'টির অবস্থিতি দু'টি ভিন্ন-ভিন্ন ক্রোমোসোমে। অতএব অমিশ্রিত বিভিন্ন গোষ্ঠীর গ্যামিটগুলি হ'বে এরকমঃ— + + (স্বাভাবিক অর্থাৎ রঙীন), A + (ডমিনাণ্ট সাদা), + $b$ (রিসেসিভ্ সাদা) এবং তাদের জীনোটাইপ যথাক্রমে $\frac{+}{+}\frac{+}{+}$, $\frac{A}{A}\frac{+}{+}$, $\frac{+}{+}\frac{b}{b}$। দু'টি

অমিশ্রিত সাদা গোষ্ঠীর মধ্যে ক্রস্‌ সংঘটিত হ'লে $\left(\frac{A}{A}\frac{+}{+} \times \frac{+}{+}\frac{b}{b}\right)$ $F_1$ জননের জীনোটাইপ হবে $\frac{A}{+}\frac{+}{b}$ এবং তাদের ফীনোটাইপ হবে সাদা (যেহেতু A জীনটি ডমিনাণ্ট)। $F_1$ জননের পাখীগুলির মধ্যে ইন্‌ব্রীডিং (inbreeding বা স্বাভাবিক প্রজন) সম্পাদিত হ'লে $F_2$ জননের জীনো-টিপিক অনুপাতটি এব্যাপারের 'সংক্ষিপ্ত সাধারণ সংকেত' (abbreviated general formula) থেকে, যার উল্লেখ আগে করা হয়েছে, আমরা সহজেই পেতে পারি। সংক্ষিপ্ত সাধারণ সংকেতটি হচ্ছে, ৯ XY ঃ ৩ Xy ঃ ৩ xY ঃ ১ xy। সাংকেতিক চিহ্নগুলির জায়গায় প্রকৃত জীনগুলিকে বসালে তা এইরকম দাঁড়ায়ঃ—৯ A + (সাদা)ঃ ৩ Ab (সাদা)ঃ ৩ + + (রঙীন)ঃ ১ + b (সাদা)।

প্রথম শ্রেণীটিতে (A +) দু'টি ডমিনাণ্ট জীনেরই অস্তিত্ব আছে এবং A জীনটির (যেটি ডমিনাণ্ট সাদা) উপস্থিতির জন্য তার রঙ্‌ হয় সাদা। দ্বিতীয় শ্রেণীটিও (Ab) হয় সাদা, কেননা, তাতে A চিহ্নিত ডমিনাণ্ট (সাদা) জীনটি তদুপরি b জীনটি (সাদা) অমিশ্রিত (pure) অবস্থায় আছে। তৃতীয় শ্রেণীটি (+ +) হয় রঙীন, কেননা তাতে প্রথম রিসেসিভ্‌ অ্যালীল্‌টি (+) অমিশ্রিত অবস্থায় এবং দ্বিতীয় অ্যালীল্‌টি (+) ডমিনাণ্ট অবস্থায় আছে। চতুর্থ শ্রেণীটি (+ b) হয় সাদা, যেহেতু দু'টি রিসেসিভ্‌ অ্যালীল্‌ই (+ এবং b) তাতে অমিশ্রিত অবস্থায় আছে।

অতএব, এক্ষেত্রে $F_2$ জননের ফীনোটিপিক অনুপাতটি দাঁড়াচ্ছে, ১৩ সাদা ঃ ৩ রঙীন এবং এটি নিঃসন্দেহে ৯ ঃ ৩ ঃ ৩ ঃ ১ অনুপাতের আর একটি পরিবর্তিত রূপ।

**মূষিকের (mouse) লোমের রঙ [ কয়েকজোড়া জীনের ইণ্টারঅ্যাক্‌শনের ঘটনা ]** ঃ মূষিকের লোমের স্বাভাবিক রঙ হচ্ছে ধূসর (gray)—কখনও-কখনও তাকে 'অ্যাগুটি'-ও (agouti) বলা হয়। পৃথক্‌-পৃথক্‌ কয়েকটি রিসেসিভ্‌ মিউটেশনের ফলে স্বাভাবিক রঙের পরিবর্তে অ্যাল্‌বীনো (albino বা সাদা), কালো (black), সিনামন্‌ (cinnamon) প্রভৃতি বিভিন্ন রঙের মূষিকের আবির্ভাব হতে পারে। পূর্বোক্ত যেকোন একটি সিম্প্‌ল্‌ মিউটাণ্ট[১] গোষ্ঠীর মূষিকের সঙ্গে একটি স্বাভাবিক অ্যাগুটি

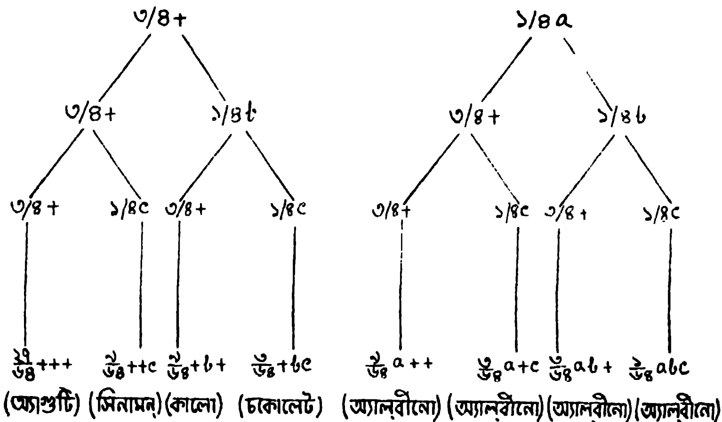
১ কোন জীবের একটি নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্য নিয়ন্ত্রণকারী জীনগুলির মধ্যে একটিমাত্র লোকাসে মিউটাণ্ট জীন থাকলে তাকে 'সিম্প্‌ল্‌ মিউটাণ্ট' বলা হয়।

গোষ্ঠীর মূষিকের ক্রস্ সম্পাদিত হ'লে, $F_1$ জননের শাবকগুলি একটিমাত্র লোকাসে হাইব্রিড বা সংকর হয়ে থাকে। এই $F_1$ জননের প্রাণিগুলির মধ্যে ইন্‌ব্রীডিং দ্বারা যে শাবকগুলির জন্ম হয় ($F_2$ জনন) তাদের অনুপাত ৩ ঃ ১ হয়ে থাকে। অর্থাৎ, ধূসর (অ্যাগুটি) এবং অ্যাল্‌বীনোর মধ্যে ক্রসিং দ্বারা $F_2$ জননে ৩ ধূসর ঃ ১ অ্যাল্‌বীনো শাবকের জন্ম হয়। তদ্রূপ, ধূসর এবং কালো, অথবা ধূসর এবং সিনামনের মধ্যে ক্রসিং দ্বারা ৩ ধূসর ঃ ১ কালো বা ৩ ধূসর ঃ ১ সিনামন শাবকের জন্ম হয়ে থাকে। স্বাভাবিক বর্ণের জন্য নির্দিষ্ট জীনগুলির কোন একটিতে মিউটেশনের ফলে অ্যাল-বীনো মূষিকের এবং অপর একটিতে মিউটেশনের ফলে কালো মূষিকের উৎপত্তি হয়েছে। মিউটেটেড জীনগুলি পৃথক্-পৃথক্ ক্রোমোসোমে অবস্থিত। অ্যাল্‌বীনো মিউটেশনটিকে $a$, কালো মিউ-টেশনটিকে $b$ এবং তাদের নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌গুলিকে + প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করলে স্বাভাবিক বা অ্যাগুটি গোষ্ঠীর জীনোটাইপ হবে $\frac{+}{+}\frac{+}{+}$ অ্যাল্‌বীনো গোষ্ঠীর $\frac{a}{a}\frac{+}{+}$ এবং কালো গোষ্ঠীর $\frac{+}{+}\frac{b}{b}$। অ্যাল্‌বীনো এবং কালো গোষ্ঠীর মধ্যে ক্রসিং ঘটলে $\left(\frac{a}{a}\frac{+}{+}\times\frac{+}{+}\frac{b}{b}\right)$ $F_2$ জননে এমন কতকগুলি শাবক পাওয়া যায় যাদের জীনোটাইপ হয় $\frac{a}{b}\frac{b}{b}$। সিম্প্‌ল্ অ্যাল্‌বীনোর $\left(\frac{a}{a}\frac{+}{+}\right)$ মত এরাও হয় অ্যাল্‌বীনো (সাদা), যেহেতু অ্যাল্‌বীনো লোকাসে $a$ জীনটি অমিশ্রিত (pure) অবস্থায় থাকার ফলে কোন পিগ্‌মেণ্টেরই সৃষ্টি হয় না, এবং সেইকারণে কোন রঙেরও প্রকাশ ঘটে না। আলোচ্য অ্যাল্‌বীনোগুলিকে $\left(\frac{a}{a}\frac{b}{b}\right)$ 'কালো-বহনকারী অ্যালবীনো' (black-carrying albino) আখ্যা দেওয়া হয়।

'কালো-বহনকারী অ্যাল্‌বীনো'-র সঙ্গে অপর আর একটি সিম্প্‌ল্ মিউটাণ্টের, ধরা যাক 'সিনামন্'-এর, ক্রসিং হ'তে পারে। প্রথমোক্ত প্রাণিটির দু'টি ক্রোমোসোমে দু'টি মিউটাণ্ট জীন $a$ এবং $b$ থাকে, এবং তৃতীয় আর একটি ক্রোমোসোমে সিনামন্-এর নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌টি থাকে। অতএব তার জীনোটাইপ, $\frac{a}{a}\frac{b}{b}\frac{+}{+}$। সিনামন্ মূষিকটির তৃতীয় ক্রোমো-সোমটিতে সিনামন্ বর্ণের জন্য নির্দিষ্ট জীনটি থাকে, কিন্তু অন্যান্য

ক্রোমোসোমগুলিতে থাকে দেহবর্ণের নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌গুলি। সিনামন্‌ মিউটেশনটিকে $c$ প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করলে তার জীনোটাইপ হবে $\frac{+}{+}\ \frac{+}{+}\ \frac{c}{c}$। অতএব, 'কালো-বহনকারী অ্যাল্‌বীনো' এবং 'সিনামন্‌' মূষিকের মধ্যে ক্রসিং হ'লে $\left(\frac{a}{a}\ \frac{b}{b}\ \frac{+}{+}\times\frac{+}{+}\ \frac{+}{+}\ \frac{c}{c}\right)$ $F_1$ জননের শাবকগুলির জীনোটাইপ হয় $\frac{a}{+}\ \frac{b}{+}\ \frac{+}{c}$। কালো-বহনকারী অ্যাল্‌বীনো গোষ্ঠীর পিতা বা মাতা থেকে তারা $a\ b\ +$ এবং সিনামন্‌ গোষ্ঠীর পিতা বা মাতা থেকে $+\ +\ c$ জীনগুলিকে পেয়ে থাকে। অতএব, $F_1$ জননের মূষিকগুলির তিনটি লোকাসে সংকর দশা (hybrid condition) পরিলক্ষিত হয় এবং ঐ তিনটি লোকাস্‌-ই **একটিমাত্র** বৈশিষ্ট্যকে (লোমের বর্ণ) প্রভাবিত করে। এই মূষিক শাবকগুলির সবক'টিই ধূসর বর্ণের হয়, যেহেতু নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌গুলির প্রত্যেকটিই ডমিনাণ্ট।

উপরি-উক্ত $F_1$ জননের দু'টি অ্যাগুটি প্রাণির মধ্যে ক্রসিং হ'লে $\left(\frac{a}{+}\ \frac{b}{+}\ \frac{+}{c}\times\frac{a}{+}\ \frac{b}{+}\ \frac{+}{c}\right)$ নানা বর্ণের $F_2$ শাবকের জন্ম হয়। মেন্‌ডেলের হেরিডিটির মূল তথ্যের ওপর ভিত্তি করে এবং সংক্ষিপ্ত সাধারণ সংকেতের (abbreviated general formula) সাহায্যে অতি সহজেই আমরা $F_2$




১১ নং চিত্র।

শাবকগুলির আনুপাতিক শ্রেণীবিন্যাস করতে পারি। প্রথমে কেবলমাত্র $a$ লোকাস্‌টির ভিত্তিতে $F_2$ শাবকগুলিকে সরল মেন্‌ডেলিয়ান অনুপাত

(simple Mendelian ratio) অনুযায়ী দু'টি শ্রেণীতে ভাগ করতে পারি, ৩ + ঃ ১ $a$ বা ৩/৪ + ঃ ১/৪ $a$ (১১নং চিত্র)। এর পর $b$ লোকাস্‌টির ভিত্তিতে ঐ দু'টি শ্রেণীর প্রত্যেকটিকে আবার ৩/৪ + ও ১/৪ $b$ অনুপাতে ভাগ করা যেতে পারে (১১নং চিত্র)। $a$ ও $b$ লোকাস্‌ থেকে পাওয়া অনুপাতগুলির সংযোগে ৯/১৬ ++ ঃ ৩/১৬ +$b$ ঃ ৩/১৬ $a$+ ঃ ১/১৬ $ab$ অনুপাতটি পাওয়া যায়। ওটি স্বাভাবিক ডাইহাইব্রিড অনুপাত। এখন $c$ লোকাস্‌টির ওপর ভিত্তি করে ওপরেরর চারটি শ্রেণীর প্রত্যেকটিকে ৩/৪ + ও ১/৪ $c$ অনুপাতে আটটি শ্রেণীতে (১১নং চিত্রের মত) ভাগ করা যেতে পারে। শ্রেণীগুলির প্রত্যেকটির বর্ণ নির্ণয় করলে দেখা যাবে, প্রথম শ্রেণীটি (+++) অ্যাগুটি বা ধূসর বর্ণের হয়, যেহেতু তার তিনটি লোকাসেই ডমিনান্ট নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌গুলি থাকে। দ্বিতীয় শ্রেণীটি (+ + $c$) সিনামন্‌ বর্ণের হয়, যেহেতু $c$ লোকাস্‌টিতে $c$ জীনটি অমিশ্রিত (pure) অবস্থায় থাকে। + $b$ $c$ প্রতীক চিহ্নিত শ্রেণীটির অ্যাল্‌বীনো লোকাসে নর্‌ম্যান অ্যালীল্‌ থাকায় এবং অপরাপর দু'টি লোকাসে $b$ ও $c$ অ্যালীল্‌দু'টি অমিশ্রিত অবস্থায় থাকার ফলে এই শ্রেণীর প্রাণিগুলি চকোলেট বর্ণের (কালো ও সিনামন্‌ বর্ণের সংমিশ্রণে) হয়। অন্যান্য শ্রেণীগুলিতে $a$ লোকাসে $a$ জীনটি অমিশ্রিত অবস্থায় থাকার দরুণ প্রতিটি শ্রেণী অ্যাল্‌বীনো (সাদা) দেহবর্ণ বিশিষ্ট হয়ে থাকে।

উপরি-উক্ত আলোচনা থেকে বোঝা গেল যে, একটি নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্য (এক্ষেত্রে দেহবর্ণ) বেশ কয়েকজোড়া জীনের ইন্টারঅ্যাক্‌শনের বা পারস্পরিক ক্রিয়ার দ্বারা প্রভাবিত হ'তে পারে। আলোচ্য ক্ষেত্রে $F_2$ জননে প্রাপ্ত শাবকগুলির নানারূপ দেহবর্ণ ও অনুপাতটি আপাতদৃষ্টিতে খুব জটিল বলে বোধ হ'লেও, ইন্‌হেরিট্যান্স্‌ পদ্ধতিটি এক্ষেত্রে মেন্‌ডেলের হেরিডিটির বা বংশগতির নিয়ম অনুসারেই ঘটেছে। অর্থাৎ, প্রতিটি লোকাসেই অ্যালীল্‌গুলির কোনরকম মিশ্রণ না ঘটে গ্যামিট সৃষ্টির কালে তা'রা পরস্পর হ'তে পৃথক্‌ হয়েছে।

**রিভার্স্যন** (Reversion)ঃ মিষ্ট মটরশুটীর ক্ষেত্রে আমরা লক্ষ্য করেছি যে, তাদের মধ্যে সাদা পুষ্প প্রদানকারী উদ্ভিদের দু'টি পৃথক্‌ গোষ্ঠী আছে। তাদের জীনোটাইপ. $\frac{a}{a}\,\frac{+}{+}$ ও $\frac{+}{+}\,\frac{b}{b}$ । এই দু' গোষ্ঠীর ভেতর ক্রসিং সংঘটিত হ'লে $\left(\frac{a}{a}\,\frac{+}{+} \times \frac{+}{+}\,\frac{b}{b}\right)$ $F_1$ জননের উদ্ভিদ্‌গুলি $\left(\frac{a}{+}\,\frac{+}{b}\right)$

বেগুনী পুষ্পশোভিত হয়, কেননা প্রতিটি সাদা লোকাসে একটি করে নর্‌ম্যাল তথা ডমিনাণ্ট জীনের আবির্ভাব ঘটে। দু'টি সাদা গোষ্ঠী মূলত দু'টি পৃথক্‌ মিউটেশনের ফল, এই তথ্যটি জানা না থাকলে আমরা তাদের একই গোষ্ঠীভুক্ত বলে মনে করতুম। সেক্ষেত্রে তাদের মধ্যে ইণ্টারব্রীডিঙের (interbreeding) দ্বারা কেন যে বেগুনী গোষ্ঠীর আবির্ভাব ঘটে, তা' বোঝা আমাদের পক্ষে খুবই কঠিন হ'ত।

উদ্ভিদ্‌- ও প্রাণি-প্রজনকারীরা (plant- and animat-breeders) বহুকাল আগেই লক্ষ্য করেছিলেন, কোন-কোন ক্ষেত্রে মিউটেশনের ফলে সৃষ্ট কোন একটি বৈশিষ্ট্য পরপর কয়েকজনন ধরে প্রকাশিত হওয়ার পর হঠাৎ একটি জননে তার অবলুপ্তি ঘটে এবং সেই জননের জীবগুলিতে ঐ বিশেষ বৈশিষ্ট্যটি পূর্ববর্তী কোন এক জননের জীবের অনুরূপ হয়। এইভাবে পূর্বপুরুষের কোন বৈশিষ্ট্য ফিরে পাওয়ার ঘটনাকে প্রাক্‌-মেন্‌ডেলীয় যুগের প্রজনকারীরা 'রিভার্স্‌ন' বা 'অ্যাটাভিজ্‌ম্‌' (atavism) আখ্যা দেন। যুক্তিযুক্ত কোন কারণ জানা না থাকায়, রিভার্স্‌ন্‌কে তাঁরা কোন এক অলৌকিক শক্তির ক্রিয়া বলে মনে করতেন। কিন্তু বর্তমানে জানা গেছে যে, মেন্‌ডেলের হেরিডিটির নিয়মের ওপর ভিত্তি করে রিভার্স্‌ন্‌কে সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। কেননা পূর্বপুরুষের কোন বৈশিষ্ট্যের পুনরাবির্ভাবের মূলে থাকে, দুই বা তদোধিক জীনের পুন-র্মিলন (মিষ্ট মটরশুঁটীর ক্ষেত্রে $a$ ও $b$ লোকাসের + চিহ্নিত জীনগুলি), বৈশিষ্ট্যটি সৃষ্টিতে যাদের উপস্থিতি একান্ত প্রয়োজন এবং স্পিসিস্‌টির ইতিহাসে কোন এক সময়ে যারা পরস্পর থেকে কোনভাবে দূরে সরে গিয়েছিল।

# ৩ ॥ লিংকেজ ও ক্রসিং ওভার

## ॥ লিংকেজ ॥

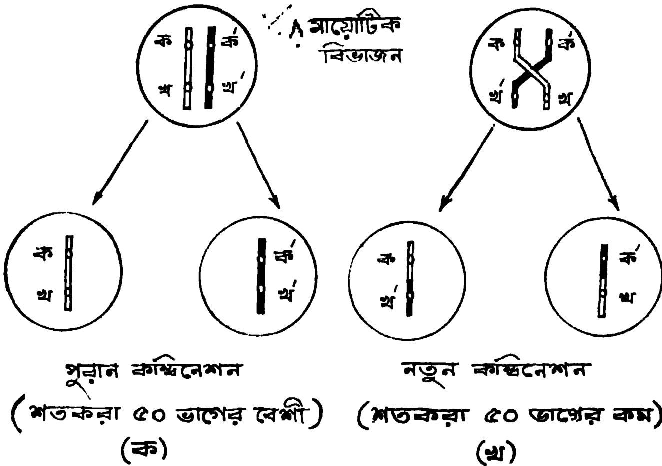
আগের অধ্যায়ে বলা হয়েছে, মেন্‌ডেলের 'ইন্ডিপেন্ডেন্ট্‌ অ্যাসর্টমেন্টের সূত্রটি' সবক্ষেত্রে প্রযুক্ত নয়। প্রকৃতপক্ষে, হেরিডিটি সম্পর্কে মেন্‌ডেলের নীতিগুলি পুনরাবিষ্কৃত হওয়ার অল্প কিছুকাল পরেই (১৯০৬ সালে) দু'জন ইংরাজ জীনতাত্ত্বিক (geneticists), **বেট্‌সন্‌** ও **পানেট**; উক্ত সূত্রটির একটি ব্যতিক্রম লক্ষ্য করেন। মটরশুঁটীর উদ্ভিদে তাঁরা দেখেন যে দু'জোড়া অ্যালীল্‌ স্বাধীনভাবে পরস্পর থেকে পৃথক্‌ হচ্ছে না। যেসব ক্ষেত্রে শিশু-উদ্ভিদ্‌টি মাতা বা পিতার যেকোন একজনের কাছ থেকে অ্যালীল্‌দু'টিকে লাভ করছে সেসব ক্ষেত্রে অ্যালীল্‌দু'টি একই গ্যামিটে প্রবেশ করছে অর্থাৎ, একইসাথে থাকছে। কিন্তু, যেসব ক্ষেত্রে শিশু-উদ্ভিদ্‌টি মাতা ও পিতা উভয়ের কাছ থেকেই অ্যালীল্‌দু'টিকে পাচ্ছে, সেসব ক্ষেত্রে অ্যালীল্‌দু'টি ভিন্ন-ভিন্ন গ্যামিটে প্রবেশ করছে অর্থাৎ, তাদের মধ্যে পৃথক্‌ভাবে থাকার ঝোঁক দেখা যাচ্ছে। বেট্‌সন্‌ ও পানেট অ্যালীল্‌দু'টির প্রথমোক্ত ও শেষোক্ত আচরণকে যথাক্রমে **কাপ্‌লিং** (coupling বা সংযোগ) ও **রিপালসন্‌** (repulsion বা বিকর্ষণ) আখ্যা দেন। কিন্তু, এই কাপ্‌লিং ও রিপালসনের যথার্থ কারণটি কি, তা' তাঁরা বুঝতে পারেন নি।

১৯১০ সালে **মর্‌গ্যান** (Morgan) ড্রসোফিলাতেও (*Drosophila*) ঐরকম কাপ্‌লিং ও রিপালসনের ঘটনা লক্ষ্য করেন এবং তাদের তিনি 'লিংকেজ' (linkage) নামক একটি ব্যাপারের দু'টি অবস্থা বলে বর্ণনা করেন।

এখন প্রশ্ন হচ্ছে, 'লিংকেজ' কি? দু'টি জীন একই ক্রোমোসোমে অবস্থান করলে, জীনদু'টিকে **লিঙ্ক্‌ড্‌ জীন** (linked genes বা সংযোজিত জীন) বলা হয়। লিঙ্ক্‌ড্‌ জীনগুলির একসঙ্গে থেকে একই গ্যামিটে প্রবেশ করার একটি ঝোঁক থাকে। কিন্তু, কখনও-কখনও 'ক্রসিং ওভার' (crossing over) [ প্রথম খণ্ডের দ্বাদশ অধ্যায় দ্রষ্টব্য ] লিঙ্ক্‌ড্‌ জীনগুলিকে পৃথক্‌ করে দেয়।

ধরা যাক, একটি ডিম্বাণুতে **ক** ও **খ** নামে দু'টি জীন একটি ক্রোমোসোমে অবস্থিত আছে এবং একটি শুক্রাণুতে তুল্য-ক্রোমোসোমে **ক'** ও **খ'**

নামে দু'টি জীন আছে। অতএব, ঐ দু'টি গ্যামিটের মিলনের ফলে উৎপন্ন শিশুটির জীনোটাইপ হবে $\frac{\text{ক খ}}{\text{ক' খ'}}$ (এই সংকেতের 'অভগ্ন' রেখাটির দ্বারা জীনগুলির একজোড়া ক্রোমোসোমে অবস্থিতি সূচিত হচ্ছে। রেখাটি 'ভগ্ন' হ'লে, যেমন $\frac{\text{ক}}{\text{ক'}}\frac{\text{খ}}{\text{খ'}}$ দু'জোড়া ক্রোমোসোমে তাদের অবস্থিতি সূচিত করত)। আলোচ্য সংকর (hybrid) শিশুটি পরিণতি প্রাপ্ত হয়ে যখন গ্যামিট সৃষ্টি করবে, তখন ক ও খ সাধারণত একসাথে থেকে ক' ও খ' থেকে পৃথক্ হবে এবং কখ ও ক'খ' এই দু'শ্রেণীর গ্যামিট উৎপাদিত হবে (১২ক নং চিত্র)। গ্যামিটগুলিতে জীনের কম্বিনেশন




১২ নং চিত্রঃ—মায়োটিক বিভাজনকালে লিংকেজ-এর ফলশ্রুতি।

(combination বা সমবায়), সংকর শিশুটি তার পিতা-মাতা থেকে তাদের যে কম্বিনেশনে লাভ করেছিল সেইরকম অর্থাৎ, **পুরান কম্বিনেশন** (old combination)। কিন্তু গ্যামিটসৃষ্টির কালে কখনও-কখনও ক্রসিং ওভারের জন্য গ্যামিটের মধ্যে জীনের **নতুন কম্বিনেশন** (recombinations), কখ' ও ক'খ ঘটে (১২ খ নং চিত্র)। পুরান কম্বিনেশনযুক্ত গ্যামিটগুলি সবসময়েই নতুন কম্বিনেশনযুক্ত গ্যামিটের চেয়ে বেশী হয়ে থাকে। অন্য-ভাবে বলা যেতে পারে যে পুরান কম্বিনেশনযুক্ত গ্যামিট সর্ব্বদাই সমগ্র

গ্যামিট সংখ্যার শতকরা ৫০ ভাগের বেশী হয় এবং নতুন কম্বিনেশন-যুক্ত গ্যামিট শতকরা ৫০ ভাগের কম হয়। অর্থাৎ, অধিকাংশ ক্ষেত্রেই লিংক্‌ড্ জীনগুলি একত্রিত থাকে। ইন্‌হেরিট্যান্স্ (inheritance) কালে লিংক্‌ড্ জীনগুলির এরকম একত্রিত থাকার প্রবণতাকে লিংকেজ্ বলা হয়।

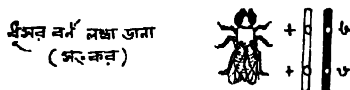
**লিংকেজ-এর একটি বাস্তব উদাহারণঃ** স্বাভাবিক অবস্থায় ড্রসোফিলার দেহবর্ণটি ধূসর (gray) এবং ডানাগুলি লম্বা হয়। অনেকসময় মিউটেশনের ফলে তাদের দেহটি কৃষ্ণবর্ণ বা কালো (black) রঙের এবং ডানাগুলি ভেস্টিজিয়াল (vestigeal) অর্থাৎ খুব ছোট হয়ে থাকে। এই দু'টি মিউটেটেড অ্যালীল্ই হচ্ছে রিসেসিভ্ প্রকৃতির (recessive বা প্রচ্ছন্ন) এবং একই ক্রোমোসোমে তাদের অবস্থান। কৃষ্ণবর্ণের অ্যালীল্‌টিকে $b$ প্রতীক দ্বারা এবং ভেস্টিজিয়াল ডানার অ্যালীল্‌টিকে $v$ প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করলে একটি অমিশ্রিত কৃষ্ণবর্ণ ও ভেস্টিজিয়াল ডানাবিশিষ্ট পতঙ্গের (pure black-vestigeal) জীনোটাইপ হবে $\frac{b\ v}{b\ v}$। যদি এরকম একটি ড্রসোফিলার সঙ্গে একটি স্বাভাবিক (normal) ড্রসোফিলার (জীনোটাইপ $\frac{+\ +}{+\ +}$) প্রজনক্রিয়া সাধিত হয়, তাহলে $F_1$ জননের পতঙ্গগুলির জীনোটাইপ দাঁড়ায় $\frac{+\ +}{b\ v}$।

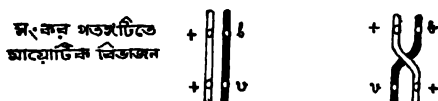
$F_1$ জননের স্ত্রী পতঙ্গগুলিতে গ্যামিট সৃষ্টির কালে আলোচ্য ক্রোমোসোমের $b$ এবং $v$ লোকাস দু'টির মধ্যে ক্রসিং ওভার না ঘটে দু'শ্রেণীর পুরান কম্বিনেশনযুক্ত বা নন্ ক্রস্-ওভার (non-crossover) গ্যামিট $++$ এবং $bv$, সৃষ্টি হ'তে পারে (১৩ নং চিত্র)। আবার ঐ লোকাস্ দু'টির মধ্যে ক্রসিং ওভার ঘটে আর দু'শ্রেণীর নতুন কম্বিনেশনযুক্ত বা ক্রস্-ওভার গ্যামিট, $+v$ ও $b+$ সৃষ্টি হ'তে পারে (১৩ নং চিত্র)। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গেছে যে, উপরি-উক্ত চার শ্রেণীর ডিম্বাণু মোটামুটি নিম্নলিখিত অনুপাতে উৎপাদিত হয়ে থাকেঃ—

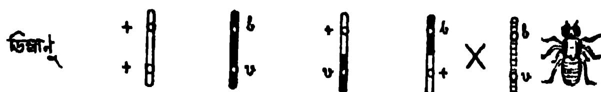
$$৪১{\cdot}৫\ ++ : ৪১{\cdot}৫\ bv : ৮{\cdot}৫\ +v : ৮{\cdot}৫\ b+$$

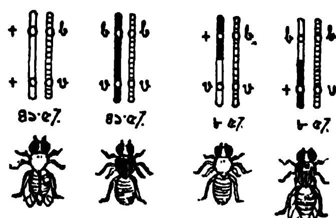
$F_1$ স্ত্রী পতঙ্গগুলি যে উপরোদ্ধৃত অনুপাত অনুযায়ী ডিম্বাণু সৃষ্টি করে থাকে তা' বুঝতে গেলে, একটি $F_1$ স্ত্রী পতঙ্গের সঙ্গে একটি অমিশ্রিত কৃষ্ণবর্ণ ও ভেস্টিজিয়াল ডানাবিশিষ্ট (pure black-vestigeal)




| ধূসর বর্ণ লম্বা ডানা | কৃষ্ণবর্ণ ভেস্টিজিয়াল ডানা | ধূসর বর্ণ ভেস্টিজিয়াল ডানা | কৃষ্ণবর্ণ লম্বা ডানা |
|---|---|---|---|
| নন্ ক্রস্-ওভার শ্রেণী (৮৩%) | | ক্রস্-ওভার শ্রেণী (১৭%) | |

১৩ নং চিত্র ঃ—ড্রসোফিলার একটি লিংকেজ-এর উদাহরণ।

পুরুষ পতঙ্গের প্রজনক্রিয়া সাধন করতে হবে। আলোচ্য ক্রস্-এর (cross) সংকেতটি হবে এইরকম, $\frac{+\ \ +}{b\ \ v}$ ♀ × $\frac{b\ \ v}{b\ \ v}$ ♂। এই ক্রসের

দ্বারা উৎপাদিত $F_2$ জননের পতঙ্গগুলির অনুপাত নিম্নরূপ হতে দেখা যায়ঃ—

৪১·৫ ধূসর বর্ণ, লম্বা ডানা $\left(\frac{b\ v}{+\ +}\right)$ঃ ৪১·৫ কৃষ্ণবর্ণ, ভেস্টিজিয়াল ডানা $\left(\frac{b\ v}{b\ v}\right)$ঃ ৮·৫ ধূসর বর্ণ, ভেস্টিজিয়াল ডানা $\left(\frac{+\ v}{b\ v}\right)$ঃ ৮·৫ কৃষ্ণবর্ণ, লম্বা ডানা $\left(\frac{b\ +}{b\ v}\right)$ [ ১৩ নং চিত্র ]।

পুরুষ পতঙ্গটি $b$ ও $v$ লোকাস্ দু'টিতে অমিশ্রিত (pure) হওয়ার ফলে $F_2$ জননের সবক'টি পতঙ্গ তার কাছ থেকে $b$ ও $v$ জীন পেয়েছে। এথেকে সহজেই বোঝা যায় যে, স্ত্রী পতঙ্গগুলি উপরোদ্ধৃত অনুপাত অনুযায়ীই গ্যামিট সৃষ্টি করেছিল।

এই পরীক্ষার দ্বারা দেখা গেল যে, 'ক্রস্ওভার গ্যামিট'-গুলির সংখ্যা 'নন্-ক্রস্ওভার গ্যামিট'-গুলির তুলনায় অনেক কম (প্রতি ১০০টি গ্যামিটের মধ্যে ৮৩টি নন্-ক্রস্ওভার এবং ১৭টি ক্রস্ওভার গ্যামিট থাকে)। এথেকে লিঙ্ক্ড্ জীনগুলির (এক্ষেত্রে $bv$ এবং $++$) একত্রিত থাকার প্রবণতাটি সহজেই প্রকাশ পাচ্ছে।

ওপরের ক্রস্টি থেকে দেখা গেল যে ক্রস্ওভার গ্যামিটের সংখ্যা প্রতি ১০০ গ্যামিটের মধ্যে ১৭টি। সুতরাং, $b$ ও $v$ লোকাসের মধ্যে ক্রসিং ওভারের শতকরা হার ১৭, এইরকম বলা হয়ে থাকে। পরীক্ষার দ্বারা এটা প্রমাণিত হয়েছে যে, লিঙ্ক্ড্ জীনগুলির মধ্যে ক্রসিং ওভারের শতকরা হার জীনগুলির মধ্যবর্তী দূরত্বের ওপর নির্ভরশীল। দূরত্ব যত বেশী হয়, ক্রসিং ওভারের শতকরা হারও ততই বেশী হয়ে থাকে, কিন্তু এই হার কখনই পুরান কম্বিনেশনের (old combinations) বেশী হতে পারে না।

**টেস্ট্ ক্রস্** (Test cross)ঃ একটি সংকর জীবের (hybrid organism) সঙ্গে একটি রিসেসিভ্ জীবের (recessive organism) ক্রস্-কে 'টেস্ট্ ক্রস্' বলা হয়। ওপরে আলোচিত $F_1$ ক্রস্টি $\left(\frac{+\ +}{b\ v}\ ♀ \times \frac{b\ v}{b\ v}\ ♂\right)$ একটি টেস্ট্ ক্রস্। লিংকেজ-সংক্রান্ত পরীক্ষায় ক্রসিং ওভারের শতকরা হার নিরূপণের সহজতম পদ্ধতি হচ্ছে টেস্ট্ ক্রস্। এরূপ ক্রসের দ্বারা একটি সংকর জীব কি-কি প্রকারের গ্যামিট সৃষ্টি করছে এবং কোন্ অনুপাতেই বা সেই গ্যামিটগুলি সৃষ্টি হচ্ছে, তা' সহজেই ধরা যায়।

**সম্পূর্ণ লিংকেজ** (Complete linkage)ঃ 'বেগুনী রঙের চোখ' (purple eye) এবং 'ভেস্টিজিয়াল ডানা' ড্রসোফিলার দু'টি মিউটেটেড বৈশিষ্ট্য। ঐ বৈশিষ্ট্যগুলিকে নিয়ন্ত্রণকারী জীনদু'টি ($pr$ ও $vg$) ২ নং ক্রোমোসোমে অবস্থিত। **ব্রিজেস** (Bridges) একটি অমিশ্রিত (pure) বেগুনী চোখ ও ভেস্টিজিয়াল ডানাবিশিষ্ট $\left(\frac{pr\ \ vg}{pr\ \ vg}\right)$ পুরুষ পতঙ্গ এবং একটি অমিশ্রিত স্বাভাবিক $\left(\frac{+\ \ +}{+\ \ +}\right)$ স্ত্রী পতঙ্গের মধ্যে ক্রস্ ঘটান। ঐ ক্রস্ থেকে উৎপাদিত একটি পুরুষের $\left(\frac{+\ \ +}{pr\ \ vg}\ \male\right)$ সঙ্গে একটি স্ত্রী পতঙ্গের টেস্ট্ ক্রস্ ঘটিয়ে তিনি নিম্নরূপ ফল লাভ করেনঃ—

টেস্ট্ ক্রস্— $\frac{pr\ \ vg}{pr\ \ vg}\ \female \times \frac{+\ \ +}{pr\ \ vg}\ \male$

| টেস্ট্ ক্রসের সন্তান-সন্ততি | | | |
|---|---|---|---|
| | $+\ \ +$ .......... | ৫১৯ | নন্-ক্রস্ওভার শ্রেণী |
| | $pr\ \ vg$ .......... | ৫৫২ | নন্-ক্রস্ওভার শ্রেণী |
| | $+\ \ vg$ .......... | 0 | |
| | $pr\ \ +$ .......... | 0 | |
| | | ১০৭১ | |

উপরোদ্ধৃত উপাত্ত (data) থেকে দেখা যাচ্ছে যে আলোচ্য জীনদু'টির মধ্যে কোন ক্রসিং ওভার ঘটে নি। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে জীনগুলির লিংকেজ ভঙ্গ হয় নি। এরূপ অবস্থাকে 'সম্পূর্ণ লিংকেজ' বলা হয়।

**অসম্পূর্ণ লিংকেজ** (Incomplete linkage)ঃ উপরি-উক্তরূপ একটি ক্রস্ থেকে পাওয়া সংকর স্ত্রী পতঙ্গের (hybrid female— $\frac{pr\ \ vg}{+\ \ +}\ \female$) সঙ্গে একটি পুরুষ পতঙ্গের $\left(\frac{pr\ \ vg}{pr\ \ vg}\ \male\right)$ 'টেস্ট্ ক্রস্' ঘটিয়ে **ব্রিজেস** (Bridges) নিম্নরূপ ফল পানঃ—

$P_1$ জনন .......... $\frac{+\ \ +}{+\ \ +}\ \female \times \frac{pr\ \ vg}{pr\ \ vg}\ \male$

$F_1$ জনন .......... $\frac{+\ \ +}{+\ \ +}\ \female \times \frac{pr\ \ vg}{pr\ \ vg}\ \male$ [টেস্ট্ ক্রস্]

| | | | |
|---|---|---|---|
| টেস্ট্ ক্রসের সন্তান-সন্ততি | + + ...... ১৩৩৯ | pr vg .... ১১৯৫ | নন্-ক্রস্ওভার শ্রেণী |
| | + vg .... ১৫১ | pr + .... ১৫৪ | ক্রস্ওভার শ্রেণী |
| | | ২৮৩৯ | |

উপরোদ্ধৃত উপাত্ত থেকে দেখা যাচ্ছে যে, আলোচ্য জীনদুটির মধ্যে ক্রসিং ওভার ঘটেছে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে জীনগুলির লিংকেজ ভগ্ন হয়েছে। এরূপ অবস্থাকে 'অসম্পূর্ণ লিংকেজ' বলা হয়।

এটা দেখা গেছে যে, ড্রসোফিলার পুরুষগুলিতে মোটেই ক্রসিং ওভার হয় না। এই বক্তব্য থেকে এরূপ সিদ্ধান্ত করা ঠিক হবে না যে, কোন প্রাণির পুরুষদের মধ্যেই ক্রসিং ওভার হয় না। তবে এরূপ দেখা গেছে যে, হোমোগ্যামেটিক সেক্স্-এর (চতুর্থ অধ্যায় দ্রষ্টব্য) তুলনায় হেটেরো-গ্যামেটিক সেক্স্-এ ক্রসিং ওভারের হার কম।

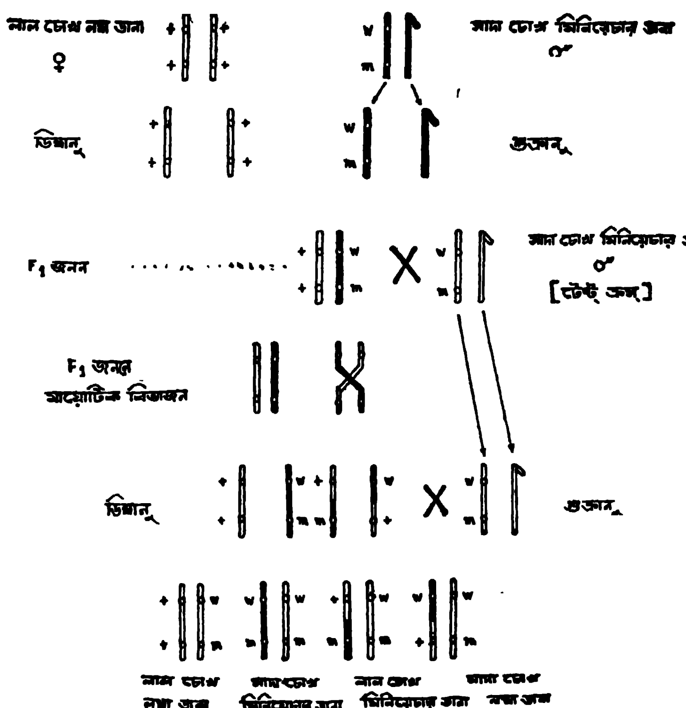
**লিংকেজ এবং হেরিডিটির ক্রোমোসোম মত** (Linkage and chromosome theory of heredity)ঃ হেরিডিটির ক্রোমোসোম মতে বিবৃত হয়েছে, "জীনগুলি ক্রোমোসোমে অবস্থিত এবং সেগুলি ক্রোমোসোমের মাধ্যমেই পিতামাতা থেকে সন্তান-সন্ততিতে হস্তান্তরিত হয়।" ক্রোমোসোম-গুলির আচরণ পরীক্ষার দ্বারা এই মতের উৎপত্তি হয়েছে এবং লিংকেজ-সংক্রান্ত পরীক্ষাগুলি এই মতকে দৃঢ়-সমর্থন দান করেছে। এ-ব্যাপারে একটু বিস্তারিত আলোচনা করলে আলোচ্য বিষয়বস্তুটি সহজবোধ্য হবে।

মেন্ডেল তাঁর পরীক্ষার দ্বারা জানতে পারেন যে জীনগুলি জোড়ায়-জোড়ায় (in pairs) থাকে। পরবর্তীকালে কোষের ভেতর ক্রোমোসোম-গুলিকেও জোড়ায়-জোড়ায় থাকতে দেখা যায়। মেন্ডেল আরও লক্ষ্য করেন যে পিতামাতার প্রতি জোড়া জীন থেকে একটি করে জীন প্রতিটি সন্তান লাভ করে। ক্রোমোসোমের ক্ষেত্রেও দেখা যায় যে, প্রতি জোড়া ক্রোমোসোম থেকে একটি করে ক্রোমোসোম প্রতি গ্যামিটে, সুতরাং প্রতি সন্তানে, প্রবেশ করে। জীন এবং ক্রোমোসোমগুলির এই সাদৃশ্য থেকে ক্রোমোসোম মতের উৎপত্তি হয়।

**মিস্ এন. এম. স্টিভেন্স** (Miss N. M. Stevens) এবং **টি. এইচ. মর্‌গ্যান**-এর (T. H. Morgan) গবেষণা-কাজের দ্বারা আলোচ্য মতটি তথ্য-ভিত্তিক সমর্থন লাভ করে। মানুষসহ বহু প্রাণীতে এক্স্-ক্রোমোসোম (X-chromosome) [ চতুর্থ অধ্যায় দ্রষ্টব্য ] নামে একটি ক্রোমোসোম থাকে। পুরুষগুলিতে ঐ ক্রোমোসোমটির যথাযথ সমকক্ষ থাকে না। সেক্স্-লিংক্‌ড্ জীনগুলির (sex-linked genes) [ পঞ্চম অধ্যায় দ্রষ্টব্য ] সবক'টিই ঐ এক্স্-ক্রোমোসোমে অবস্থিত থাকে। মিস্ স্টিভেন্স ড্রসোফিলা নামক পতঙ্গে এক্স্-ক্রোমোসোমটি কিভাবে পিতামাতা থেকে সন্তান-সন্ততিতে হস্তান্তরিত হয়, তা' লক্ষ্য করেন। পরে মর্‌গ্যান লক্ষ্য করেন যে ঐ পতঙ্গটির চোখের সাদা রঙ্‌কে নিয়ন্ত্রণকারী মিউটেটেড জীনটিও একইভাবে হস্তান্তরিত হয়। এথেকে বোঝা যায় যে, উক্ত জীনটি (white eye) এক্স্-ক্রোমোসোমে অবস্থিত।

পরে আরও পরীক্ষার দ্বারা মিনিয়েচার বা ছোট ডানা (miniature wing), হলুদ দেহবর্ণ (yellow body) প্রভৃতির জীনগুলিও এক্স্-ক্রোমোসোমে অবস্থিত বলে ধরা পড়ে। কিন্তু ঐ পরীক্ষাগুলি নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করতে পারে নি যে এক্স্-ক্রোমোসোমে একাধিক জীন থাকে। এরকম হতে পারে যে, এক্স্-ক্রোমোসোমে একটিমাত্রই জীন থাকে এবং সেটিরই বিভিন্নরূপ মিউটেশনের মাধ্যমে কখনও হলুদ দেহবর্ণ, কখনও বা মিনিয়েচার ডানা, আবার কখনও বা সাদা চোখের সৃষ্টি হয়। ১৯১১ সালে মর্‌গ্যান ড্রসোফিলায় লিংকেজ-সংক্রান্ত পরীক্ষার দ্বারা নিশ্চিতরূপে প্রমাণ করেন যে, এক্স্-ক্রোমোসোমে একাধিক জীন অবস্থিত। মর্‌গ্যান-এর পরীক্ষাটি ছিল নিম্নরূপঃ—

একটি অমিশ্রিত লাল চোখ ও লম্বা ডানা (red eye long wing)-বিশিষ্ট পতঙ্গের সঙ্গে একটি অমিশ্রিত সাদা চোখ ও মিনিয়েচার ডানা (white eye miniature wing)-বিশিষ্ট পতঙ্গের প্রজনক্রিয়া সাধিত হয়। এর ফলে উৎপাদিত $F_1$ জননের পতঙ্গগুলিকে 'টেস্ট ক্রস্' করিয়ে দেখা যায় যে তাদের কতকগুলি সন্তান-সন্ততির চোখটি সাদা কিন্তু ডানাটি লম্বা (white long) হয়েছে এবং আর কতকগুলিতে চোখটি লাল কিন্তু ডানাটি মিনিয়েচার বা ছোট হয়েছে (red miniature) [ ১৪ নং চিত্র ]। এই ক্রস্ প্রমাণ করছে যে, সাদা ও মিনিয়েচার (white and miniature) অ্যালীল্ দু'টি বিচ্ছেদ্য (separable)। অতএব, তারা দু'টি পৃথক্ জীন বা অ্যালীল্ এবং যেহেতু তারা একই ক্রোমোসোমে (এক্স্-ক্রোমোসোমে)




১৪ নং চিত্রঃ—লাল চোখ লম্বা ডানা এবং সাদা চোখ মিনিয়েচার ডানা ড্রসো-ফিলার ক্রস্ থেকে দেখা যাচ্ছে যে সাদা ও মিনিয়েচার অ্যালীলদ্ু'টি বিচ্ছেদ্য

অবস্থিত, এই পরীক্ষা দ্বারা এটাও প্রমাণিত হচ্ছে যে, একটি ক্রোমোসোমে একাধিক জীন থাকে।

মর্‌গ্যান-এর উপরি-উক্ত পরীক্ষা এবং পরবর্তীকালে লিংকেজ-সংক্রান্ত আরও পরীক্ষা 'হেরিডিটির ক্রোমোসোম মত'-কে স্ুদ্ৃঢ় ভিত্তির ওপর প্রতিষ্ঠিত করেছে।

**লিংকেজ গ্রুপ** (Linkage group বা লিংকেজ গোষ্ঠী)ঃ যদি কোন একটি জীন, ধরা যাক 'ক', অপর দু'টি জীন 'খ' ও 'গ'-এর সঙ্গে লিঙ্ক্‌ড্ (linked বা সংযোজিত) থাকে, তাহলে শেষোক্ত জীনদু'টিও পরস্পরের সঙ্গে লিঙ্ক্‌ড্ থাকবে। যেকোন জীবের জীনগুলিকে কয়েকটি 'লিংকেজ গ্রুপ'-এ ভাগ করা যায় এবং প্রতিটি গ্রুপের জীনগুলি একে অপরের সঙ্গে লিঙ্ক্‌ড্ বা সংযোজিত থাকে। যে স্পিসিস্‌গুলিকে নিয়ে বেশী জেনেটিক গবেষণা

হয়েছে তাদের ক্ষেত্রে দেখা গেছে, তাদের 'লিংকেজ গ্রুপ'-এর সংখ্যা তাদের হ্যাপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যার সমান।

লিংকেজ সম্পর্কে গবেষণা চালাবার একটি অতি প্রিয় উপাদান হচ্ছে, 'ড্রসোফিলা' নামক একপ্রকার ফলের মাছি। গবেষণাগারে অতি সহজেই তাদের প্রজন (breeding) ঘটানো যায়; তাদের লালন-পালন করাও খুব সহজ এবং সে কাজটিও মোটেই ব্যয়বহুল নয়। উপরন্তু, মাছিগুলির উৎপাদিকা-শক্তি এত বেশী যে এক জোড়া মাছি থেকে শতাধিক, এমনকি সহস্রাধিক, মাছিরও সৃষ্টি হতে পারে এবং নানাপ্রকার মিউটেশনও তাদের মধ্যে দেখা যায়। 'ড্রসোফিলা মেলানোগ্যাস্টার্'-এ (*Drosophila melanogaster*) সহস্রাধিক মিউটেশন পরিলক্ষিত হয়েছে। নীচের ১ নং তালিকায় ঐসব মিউটেশনের মধ্যে কতকগুলির উল্লেখ করা হয়েছে। ঐ মিউটেশনগুলির ইন্‌হেরিট্যান্স সম্পর্কে গবেষণা চালিয়ে জানা গেছে যে তারা চারটি 'লিংকেজ গ্রুপ'-এর অন্তর্ভুক্ত; ১ নং তালিকা থেকে সেই তথ্যও প্রকাশ পাচ্ছে। আমরা জানি, উক্ত স্পিসিসের মাছির ক্রোমোসোম-সংখ্যা ৪ জোড়া, অর্থাৎ, তাদের হ্যাপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যা হচ্ছে ৪টি। এক্ষেত্রে হ্যাপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যার সঙ্গে লিংকেজ গ্রুপের সংখ্যার পূর্ণ মিল পরিলক্ষিত হচ্ছে।

'ড্রসোফিলা মেলানোগ্যাস্টার' ব্যতীত ড্রসোফিলার অন্যান্য স্পিসিসে হ্যাপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যা ৩—৬ হয়ে থাকে এবং ঐ সংখ্যার সঙ্গে সঙ্গতি রেখে তাদের 'লিংকেজ গ্রুপ'-এর সংখ্যাও ৩—৬ হতে দেখা যায়। অপরাপর যেসব জীবকে নিয়ে জেনেটিক গবেষণা হয়েছে তাদের মধ্যেও হ্যাপ্লয়েড ক্রোমোসোম-সংখ্যা এবং লিংকেজ গ্রুপের সংখ্যার মধ্যে মিল দেখা গেছে। উদাহারণস্বরূপ, ভুট্টায় (maize) ১০টি হ্যাপ্লয়েড ক্রোমোসোম এবং ১০টি লিংকেজ গ্রুপ এবং 'পাইসাম স্যাটিভাম' (*Pisum sativum*) নামক মটর-শুঁটীতে ৭টি হ্যাপ্লয়েড ক্রোমোসোম ও ৭টি লিংকেজ গ্রুপ আছে।

## ১ নং তালিকা

'ড্রসোফিলা মেলানোগাস্টার'-এর চারটি লিংকেজ গ্রুপের অন্তর্ভুক্ত কতিপয় জীনের তালিকা। বন্ধনীর মধ্যে তাদের সাঙ্কেতিক রূপ ও ক্রোমোসোমদেহে তাদের অবস্থানস্থল (সংখ্যার দ্বারা) দেখানো হয়েছে। যেসব ক্ষেত্রে সাঙ্কেতিক রূপে বড় হাতের ইংরাজী হরফ ব্যবহার করা হয়েছে, সেগুলিকে ডমিনাণ্ট মিউটেশন বুঝতে হবে।

| এক্স্ বা ১ নং ক্রোমোসোম | ২ নং ক্রোমোসোম | ৩ নং ক্রোমোসোম | ৪ নং ক্রোমোসোম |
|---|---|---|---|
| ইয়োলো বডি (y, 0·0) | নেট ভেন্‌স্ (net, 0·0) | রাফয়েড আই (ru, ০·০) | স্যাভেন ব্রিস্‌ল্‌স্ (sv, ০·০) |
| স্কুট ব্রিস্‌ল্‌স্ (sc, 0·0) | অ্যারিস্টালেস (al, 0·0) | ভেন্‌লেট উইং (ve, ০·২) | কিউবিটাস ইন্টারাপ্‌টাস ভেনেশন (ci, ০·০) |
| সিলভার বডি (svr, 0·0) | অক্রেসিয়া আই (ocr, 0·0) | রাফেণ্ড আই (R, ১·৪) | গ্রুভ্‌লেস্ স্কুটেলাস (gvl, ০·০) |
| ব্রড্ উইং (br ০·৬) | স্টার আই (S, ১·৩) | জ্যাভেলিন ব্রিস্‌ল্‌স্ (jv, ১৯·২) | আইলেস (ey, ০·২) |
| প্রুন্ আই (pn, ০·৮) | হেল্ড্‌আউট (ho, ৪·০) | সিপিয়া আই (Se, ২৬·০) | |
| হোয়াইট্ আই (w ১·৫) | একাইনয়েড্ আই (cd, ১১·০) | হেয়ারি বডি (h, ২৬·৫) | |
| ফ্যাসেট্ আই (fa, ৩·০) | ফ্যাট বডি (ft, ১২·০) | অ্যাপ্রক্সিমেটেড ভেন্‌স্ (app, ৩৭·৫) | |
| একাইনাস্ আই (ec, ৫·৫) | ডাম্পি উইং (dp, ১৩·০) | গ্লুড্ আই (Gl, ৪১·৪) | |
| বাইফিড ভেন্‌স্ (bi, ৬·৯) | ক্লট্ আই (cl, ১৬·৫) | থ্রেড্ অ্যারিস্টা (th ৪৩·২) | |
| রুবি আই (rb, ৭·৫) | জ্যাম্‌ড্ উইং (J, ৪১·০) | স্কার্‌লেট আই (st, ৪৪·০) | |
| ক্রস্‌ভেন্‌লেস্ (cv, ১৩·৭) | ব্ল্যাক বডি (b, ৪৮·৫) | ক্রিপ্‌ড্ উইং (cp, ৪৫·৩) | |
| রাফেক্স্ আই (rux, ১৫·০) | রিডিউস্‌ড্ ব্রিস্‌ল্‌স্ (rd, ৫১·০) | রিঙ্কল্‌ড্ উইং (W, ৪৬·০) | |
| কার্‌মিন আই (cm, ১৮·৯) | পার্পল্ আই (pr, ৫৪·৫) | ইন্‌টারন্‌ড্ ব্রিস্‌ল্‌স্ (in, ৪৭·০) | |
| কাট্ উইং (ct, ২০·০) | ব্রিস্‌ল্ সর্ট (Bl, ৫৪·৮) | রেডিয়াস ইন-কম্‌প্লিটাস ভেন্‌স্ (ri, ৪৭·১) | |
| সিঙ্গড্ ব্রিস্‌ল্‌স্ (sn, ২১·০) | লাইট আই (lt, ৫৫·০) | পিঙ্ক আই (p, ৪৮·০) | |
| লজেঞ্জ আই (lz, ২৭·৭) | স্ট্র বডি (stw, ৫৫·১) | ব্লিস্টারি উইং (by, ৪৮·৭) | |
| র‍্যাস্প্‌বেরি আই (ras, ৩২·৮) | টার্সি ফিউস্‌ড্ | কার্‌ল্‌ড্ উইং | |

এক্স্‌ বা ১ নং ক্রোমোসোম ২ নং ক্রোমোসোম ৩ নং ক্রোমোসোম ৪ নং ক্রোমোসোম

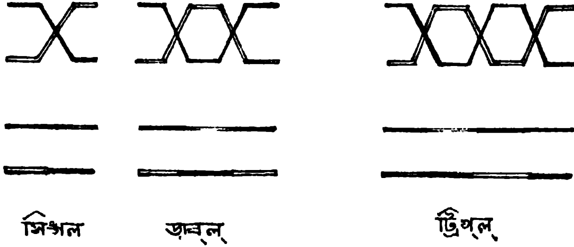
| | | |
|---|---|---|
| ভার্মিলিয়ন আই | (ti, ৫৫·৯) | (cu, ৫০·০) |
| (v, ৩৩·০) | সিনাবার আই | মাস্‌ড্‌ উইং |
| মিনিয়েচার উইং | (cn, ৫৭·৫) | (mu, ৫০·০) |
| (m, ৩৬·১) | এন্‌গ্রেল্‌ড্‌ | কার্‌ময়সিন আই |
| ডাস্কি উইং | (en, ৬২·০) | (Kar, ৫২·০) |
| (dy, ৩৬·২) | স্ক্যাব্রাস আই | স্টাব্‌ল্‌ ব্রিস্‌ল্‌স্‌ |
| স্যাব্‌ল্‌ বডি | (Sca, ৬৬·৭) | (ss, ৫৮·৫) |
| (S, ৪৩·০) | ভেস্টিজিয়াল উইং | রফ্‌ উইং |
| গার্নেট আই | (vg, ৬৭·০) | (Rf, ৫৯·০) |
| (g, ৪৪·৪) | লোব্‌ আই | স্ট্রাইপ্‌ থোরাক্স |
| স্ক্যালপ্‌ড্‌ উইং | (L, ৭২·০) | (sr, ৬২·০) |
| (sd, ৫১·৫) | কার্ভ্‌ড উইং | গ্লাস আই |
| আন্‌ইভ্‌ন আই | (c, ৭৫·৫) | (gl, ৬৩·১) |
| (un, ৫৪·৪) | প্লেক্সাস ভেন্‌স্‌ | ডেল্টা ভেন্‌স্‌ |
| ফর্ক্‌ড্‌ ব্রিস্‌ল্‌স্‌ | (px, ১০০·৫) | (Dl, ৬৬·২) |
| (f, ৫৬·৭) | ব্রাউন আই | হেয়ারলেস |
| বার্‌ আই | (bw, ১০৪·৫) | ব্রিস্‌ল্‌স্‌ |
| (B, ৫৭·০) | স্পেক উইং | (H, ৬৯·৫) |
| বিডেক্স্‌ উইং | (sp, ১০৭·০) | এবনি বডি |
| (Bx, ৫৯·৪) | | (e, ৭০·৭) |
| ফিউস্‌ড্‌ ভেন্‌স্‌ | | প্রিক্‌লি ব্রিস্‌ল্‌স্‌ |
| (fu, ৫৯·৫) | | (Pr, ৯০·০) |
| কার্‌নেশন আই | | রাফ আই |
| (car, ৬২·৫) | | (ro, ৯১·১) |
| বব্‌ড্‌ ব্রিস্‌ল্‌স্‌ | | বিডেড্‌ উইং |
| (bb, ৬৬·০) | | (Bd, ৯৩·৮) |
| | | ক্ল্যারেট আই |
| | | (ca, ১০০·৭) |
| | | ব্রেভিস ব্রিস্‌ল্‌স্‌ |
| | | (bv, ১০৪·৩) |

## ॥ ক্রসিং ওভার ॥

ক্রসিং ওভারের কৌশল (mechanism) ও বিভিন্ন মতবাদ সম্পর্কে প্রথম খণ্ডের দ্বাদশ অধ্যায়ে বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে। সুতরাং, ঐ

বিষয়গুলি ব্যতীত ক্রসিং ওভারের অন্যান্য জ্ঞাতব্য বিষয়গুলি সম্পর্কে এখানে আলোচনা করা হবে।

কোন ক্রোমোসোম-জোড়ায় ক্রসিং ওভারের সংখ্যা এক বা একাধিক হ'তে পারে (১৫ নং চিত্র)। কোন ক্রোমোসোমের একটি অংশে ক্রসিং ওভার



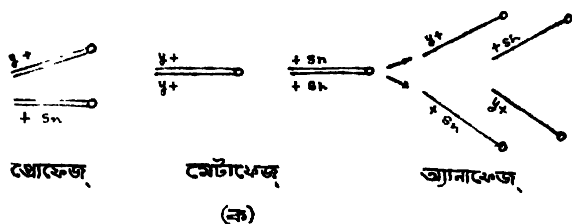

১৫ নং চিত্রঃ—বিভিন্নরূপ ক্রসিং ওভার।

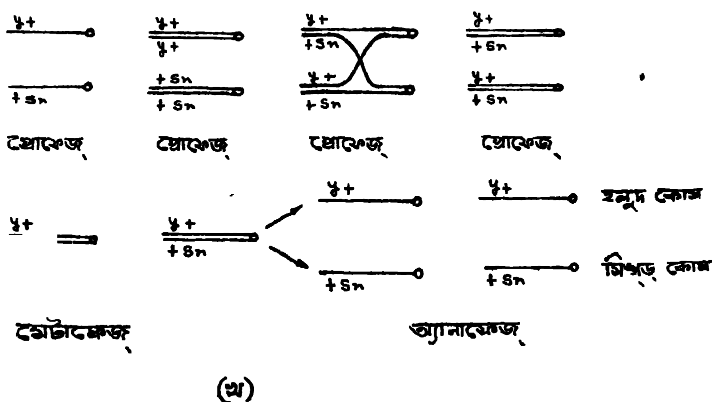
ঘটলে তাকে **সিঙ্গল্ ক্রসিং ওভার** (single crossing over) বলা হয়। তেমনি একটি ক্রোমোসোমের দু'টি বা তিনটি অংশে ক্রসিং ওভার হ'লে তাদের যথাক্রমে **ডাব্ল্ ক্রসিং ওভার** (double crossing over) ও **ট্রিপ্ল্ ক্রসিং ওভার** (triple crossing over) বলা হয়ে থাকে। দু'টি লোকাসের মধ্যে দূরত্ব বেশী হ'লে তবেই ডাব্ল্ বা ট্রিপ্ল্ ক্রসিং ওভারের সম্ভাবনা থাকে। সচরাচর সিঙ্গল্ ক্রসিং ওভারের তুলনায় ডাব্ল্ ক্রসিং ওভারের সংখ্যা কম হয়, এবং ডাব্ল্-এর তুলনায় ট্রিপ্ল্-এর সংখ্যা আরও কম হয়ে থাকে। সিঙ্গল্, ডাব্ল্, ট্রিপ্ল্ ইত্যাদি ক্রসিং ওভারের ফলে যেসব গ্যামিটের সৃষ্টি হয়, তাদের যথাক্রমে 'সিঙ্গল্ ক্রস্ ওভার গ্যামিট', 'ডাব্ল্ ক্রস্ ওভার গ্যামিট' ও 'ট্রিপ্ল্ ক্রস্ ওভার গ্যামিট' বলা হয়।

ক্রসিং ওভার সচরাচর জার্ম-কোষে (germ cell) হয়ে থাকে। সোমাটিক কোষেও (somatic cell) কখনও কখনও এই ঘটনা ঘটতে দেখা যায়; তখন তাকে **সোমাটিক ক্রসিং ওভার** (somatic crossing over) আখ্যা দেওয়া হয়। মনে রাখতে হবে. সোমাটিক ক্রসিং ওভারের ঘটনা জীবজগতে খুবই বিরল। ড্রসোফিলায় সোমাটিক কোষে হমলগাস্ ক্রোমোসোমগুলির যুগল-বন্ধনের (pairing) একটি প্রবণতা অনেকসময় চোখে পড়ে। **সি. স্টার্ন** (C. Stern) দেখিয়েছেন যে. যুগল-বন্ধনই নয়, ড্রসোফিলার সোমাটিক কোষে ক্রসিং ওভার-ও ঘটে থাকে। তবে, এরূপ ক্রসিং ওভার বিশেষ দু'-একটি পতঙ্গের অল্প কয়েকটি কোষের মধ্যেই সীমাবদ্ধ থাকে। অবশ্য এই কোষগুলির বিভাজনের দ্বারা আরও কোষের সৃষ্টি হ'লে, পতঙ্গটির

দেহের একটি অঞ্চল 'ক্রস্-ওভার টিস্যু' (cross-over tissue) দ্বারা গঠিত থাকতে দেখা যায়।

দৃষ্টান্তস্বরূপ ধরা যাক, একটি স্ত্রী ড্রসোফিলার একটি এক্স্-ক্রোমোসোমে সিঙ্গ্‌ড্ ব্রিস্‌ল্‌স্ (singed bristles) [ছোট ও কুঞ্চিত ব্রিস্‌ল্‌কে 'সিঙ্গ্‌ড্' ব্রিস্‌ল্ বলা হয়] এবং অপর এক্স্-ক্রোমোসোমে হলুদ দেহবর্ণের জীন আছে। কিন্তু তাদের অনুরূপ লোকাসে (corresponding loci) নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌গুলি অবস্থিত আছে। এরূপ একটি পতঙ্গের ব্রিস্‌ল্-গুলি স্বাভাবিক ধরণের এবং দেহটি ধূসর (gray) বর্ণের হবে, কেননা 'সিঙ্গড্' (*sn*) এবং হলুদ (*y*) জীনদু'টি রিসেসিভ্ (recessive বা প্রচ্ছন্ন)। কিন্তু এরূপ জীনোটাইপবিশিষ্ট একটি কোষে যদি ক্রসিং ওভার ঘটে তাহলে এমন কোষের উদ্ভব হবে যাতে *y* এবং *sn* জীনদু'টি হোমোজাইগাস (homozygous) অবস্থায় উপস্থিত থাকবে (১৬ নং চিত্র)। ফলে, পতঙ্গটির দেহের কোন-কোন অংশ হলুদ বর্ণ এবং স্বাভাবিক ব্রিস্‌ল্-



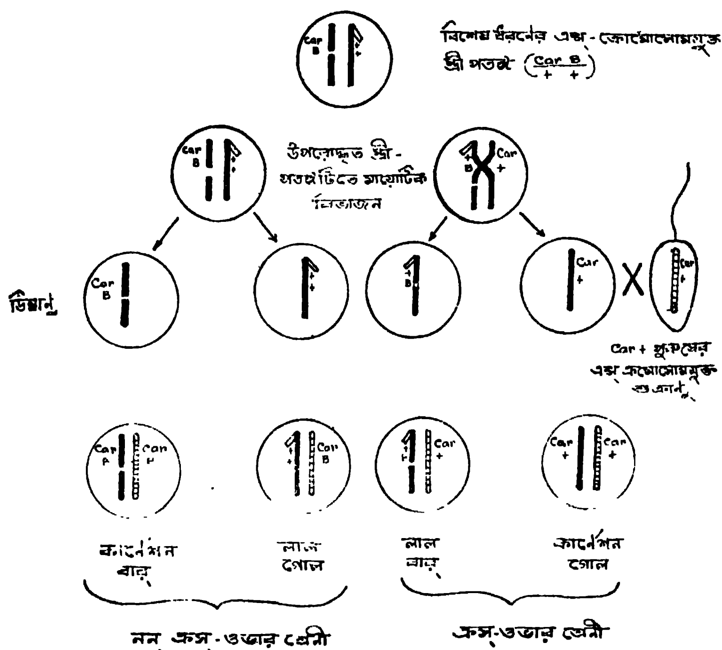




১৬ নং চিত্র:—(ক) ড্রসোফিলায় স্বাভাবিক মাইটোসিস।
(খ) ঐরূপ ড্রসোফিলায় সোমাটিক ক্রসিং ওভার।

সমন্বিত এবং তার অব্যবহিত পার্শ্ববর্তী অংশ সিঙ্গড্ ব্রিস্‌ল্ ও স্বাভাবিক বর্ণসমন্বিত (অর্থাৎ ধূসর) হতে দেখা যাবে। বাস্তবে এইধরণের ঘটনা দৃষ্টিগোচর হওয়ার ফলেই 'সোমাটিক ক্রসিং ওভার' ঘটার কথা জানা গেছে।

**ক্রসিং ওভারের সাইটোলজিক্যাল প্রমাণ** (*Cytological evidence of crossing over*)ঃ ক্রস্ ওভার এবং নন্-ক্রস্ ওভার গ্যামিটের দ্বারা উৎপাদিত কোন জীবের ক্রোমোসোমগুলিকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করলে তাদের মধ্যে কোন পার্থক্য বোঝা যায় না। কেননা, ক্রসিং ওভারের দ্বারা ক্রোমোসোমের দেহে কোন দৃষ্টিগ্রাহ্য (visible) পরিবর্তন সাধিত হয় না। অবশ্য বিশেষধরণের পরীক্ষা-কৌশল উদ্ভাবনের দ্বারা ক্রসিং ওভারের সাইটোলজিক্যাল প্রমাণ লাভ করা সম্ভব। ড্রসোফিলাতে ক্রসিং ওভারের উক্তরূপ প্রমাণ দানের জন্য স্টার্ন (Stern) যে পরীক্ষা-কৌশলটির উদ্ভাবন করেন সেটি নিম্নরূপঃ—

স্বাভাবিক অবস্থায় ড্রসোফিলার চোখদু'টি লাল রঙের ও গোলাকার (red and round) হয়ে থাকে। কখনও কখনও মিউটেশনের ফলে তাদের চোখগুলি 'কার্নেশন' (carnation) রঙের (অর্থাৎ, কাল্‌চে লাল রঙের) এবং 'বার্' (Bar) আকারের (অর্থাৎ, সরু ও লম্বা ধরণের) হয়ে থাকে। এই মিউটেটেড জীনদু'টির মধ্যে কার্নেশন-টি রিসেসিভ্ এবং car প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত হয়; অপরপক্ষে, বার্-টি ডমিনাণ্ট এবং B প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত হয়। উক্ত জীনদু'টিই এক্স্-ক্রোমোসোমে অবস্থিত। ড্রসোফিলার এক্স্-ক্রোমোসোমটির আকার রড্-এর (rod বা দণ্ড) মত এবং প্রতিটি স্ত্রী-পতঙ্গে একজোড়া করে এক্স্ থাকে। কিন্তু স্টার্ন তাঁর পরীক্ষায় এমন একটি স্ত্রী-পতঙ্গকে সংগ্রহ করেছিলেন যার একটি এক্স্-ক্রোমোসোম আকস্মিকভাবে দু'-টুক্‌রো হয়ে গিয়েছিল। তার একটি টুক্‌রোয় ছিল এক্স্-ক্রোমোসোমের সেন্ট্রোমীয়ারটি (centromere) এবং অপরটিতে চতুর্থ ক্রোমোসোমের সেন্ট্রোমীয়ারটি যুক্ত হয়েছিল (সেন্ট্রোমীয়ার ছাড়া ক্রোমোসোম বাঁচতে পারে না)। তদুপরি, ঐ ক্রোমোসোমটিতে car এবং B এই দু'টি মিউটেটেড জীন-ই উপস্থিত ছিল (১৭ নং চিত্র) [ চিত্রে লক্ষ্যনীয় যে car এবং B উভয় জীনই একই খণ্ডে অবস্থিত ]। ঐ স্ত্রী-পতঙ্গটির অপর এক্স্-ক্রোমোসোমটির এক প্রান্তে ওয়াই-ক্রোমোসোমের একটি টুক্‌রো যুক্ত ছিল (এই ঘটনাটিও আকস্মিক) এবং 'কার্নেশন' ও 'বার্'-এর নরম্যাল অ্যালীল্‌গুলি (++) তাতে অবস্থিত ছিল।




১৭ নং চিত্র ঃ—ক্রসিং ওভারের সাইটোলজিক্যাল প্রমাণ।

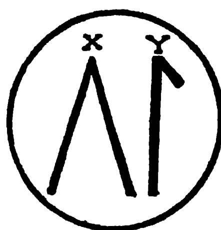
[একেবারে নীচের সারির নন্ ক্রস্-ওভার শ্রেণীর পতঙ্গগুলির যে জেনেটিক সংযুতি (genetic composition) দেখানো হয়েছে তাতে পুরুষের কাছ থেকে পাওয়া এক্স্-ক্রোমোসোমের পাশে car B লেখা আছে, কিন্তু তা না হয়ে সেগুলি car + হবে। আবার, ক্রস্-ওভার ডিম্বাণুর বাম দিকেরটিতে এক্স্-ক্রোমোসোমের রূপরেখাটি (outline) অভগ্ন দেখানো হয়েছে, কিন্তু ঐ রেখাটি ভগ্ন হবে, যেমন ওপরের ছবিগুলিতে দেখানো হয়েছে।]

এক্স্-ক্রোমোসোমগুলিকে উপরি-উক্তরূপে পরিবর্তিত করার পেছনে স্টার্ন-এর উদ্দেশ্য ছিল, 'ক্রস্ ওভার' ও 'নন্-ক্রস্ ওভার'-গুলিকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে চেনবার ব্যবস্থা করা (১৭ নং চিত্র থেকেই ব্যপারটি বোঝা যাবে)। car এবং B অ্যালীলের মধ্যে ক্রসিং ওভারের ফলে ভগ্ন এক্স্-ক্রোমোসোমটি অভগ্ন এক্স্-ক্রোমোসোমটি থেকে ওয়াই-ক্রোমোসোমের টুক্রোটিকে লাভ করে। ফলে, এক্ষেত্রে ক্রসিং ওভারের দ্বারা ক্রোমোসোমের মধ্যে দৃষ্টিগ্রাহ্য (visible) পরিবর্তনের আবির্ভাব ঘটে।

যাহা হউক, আলোচ্য স্ত্রী-পতঙ্গটির সঙ্গে car+ জীনোটাইপবিশিষ্ট একটি পুরুষ ড্রসোফিলার ক্রস্ সংঘটিত করে স্টার্ন চার শ্রেণীর স্ত্রী-পতঙ্গ লাভ করেন। তাদের ফীনোটাইপ (phenotype) পরীক্ষা করে তিনি 'নন্-ক্রস্ ওভার' ও 'ক্রস্ ওভার' শ্রেণীর পতঙ্গগুলিকে (লাল রঙ্ ও বার্ আকার এবং কার্নেশন রঙ্ ও গোলাকার—চিত্রের তৃতীয় ও চতুর্থ শ্রেণী) পৃথক্ করেন। ক্রস্ ওভার শ্রেণীর পতঙ্গগুলির ক্রোমোসোম পরীক্ষা করে এক্স্-ক্রোমোসোমে তিনি, পূর্ব অনুচ্ছেদে যে দৃষ্টি-গ্রাহ্য পরিবর্তনের কথা উল্লেখ করা হয়েছে, সেইরূপ পরিবর্তন দেখতে পান। স্টার্ন উপরি-উক্ত পরীক্ষার দ্বারা ক্রসিং ওভারের সাইটোলজিক্যাল প্রমাণ দেন।

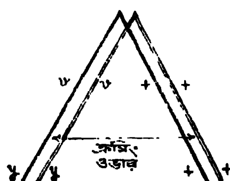
**ক্রসিং ওভার সংঘটনের কাল** (Stage at which crossing over occurs)ঃ আমরা জানি মায়োসিস-এর (meiosis) প্রোফেজ দশায় হমলগাস ক্রোমোসোমগুলির প্রথমে সাইনাপসিস (synapsis বা যুগল-বন্ধন) হয় এবং পরে তারা লম্বালম্বিভাবে বিভক্ত হয়। প্রশ্ন হচ্ছে, ক্রোমোসোমগুলির সাইনাপসিসের সাথে-সাথেই ক্রসিং ওভার সংঘটিত হয়, না তা'রা বিভক্ত হবার পর ক্রসিং ওভার সংঘটিত হয়ে থাকে? বিভিন্ন জেনেটিক পরীক্ষার (genetic experiments) মাধ্যমে জানা গেছে যে, **ক্রোমোসোমগুলি বিভক্ত হওয়ার পর ক্রসিং ওভার সংঘটিত হয়।** এরূপ একটি পরীক্ষার বর্ণনা নীচে দেওয়া হ'লঃ—

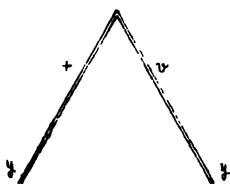
অ্যাটাচ্ড্-এক্স্ (attached-X) গোত্র নামে এক গোত্রের ড্রসোফিলা আছে, যাদের স্ত্রীগুলিতে এক্স্-ক্রোমোসোমদুটির একটি প্রান্ত পরস্পরের সাথে যুক্ত থাকে। তদুপরি তাদের প্রতি কোষে একটি করে ওয়াই ক্রোমোসোম-ও (Y-chromosome) থাকে (১৮ নং চিত্র)। এক্স্-ক্রোমোসোমগুলি যুক্ত থাকায় তারা সর্বদাই একই গ্যামিটে প্রবেশ করে—কখনই পরস্পর হ'তে পৃথক্ হয়ে যায় না। ড্রসোফিলায় মিউটেশনের ফলে কখনও কখনও দেহটি হলুদ রঙের এবং চোখগুলি সিঁদুরে (vermilion) রঙের হয়ে থাকে। উক্ত বৈশিষ্ট্যগুলি যে জীনদু'টির দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়, তাদের যথাক্রমে *y* এবং *v* প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করা হয়ে থাকে এবং তারা উভয়েই রিসেসিভ্। অ্যাটাচ্ড্-এক্স ক্রোমোসোমে *y* জীনটি মুক্ত-প্রান্তের কাছে এবং *v* জীনটি যুক্ত-প্রান্তের কাছে থাকে (১৯ নং চিত্র)। উক্ত দু'টি লোকাসে হেটেরোজাইগাস (heterozygous) এরূপ একটি স্ত্রী ড্রসোফিলার সাথে একটি অমিশ্রিত স্বাভাবিক পুরুষ (pure wild male) ড্রসোফিলার ক্রস্ করালে, তাদের যে সন্তান-সন্ততি হয়, তার মধ্যে



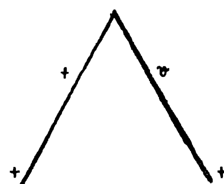

১৮ নং চিত্রঃ—অ্যাটাচ্‌ড্‌-এক্স্‌ গোত্রের ড্রসোফিলার সেক্স্‌-ক্রোমোসোম ফর্মুলা।

কিছু স্ত্রী-পতঙ্গে দেহটি হলুদ রঙের এবং চোখগুলি স্বাভাবিক লাল রঙের হতে দেখা যায় (১৯ নং চিত্র)। এথেকে বোঝা যাচ্ছে যে, অ্যাটাচ্‌ড্‌-




হলুদ দেহ লাল চক্ষু




১৯ নং চিত্রঃ—অ্যাটাচ্‌ড্‌-এক্স্‌ ক্রোমোসোমে ক্রসিং ওভার।

এক্স্‌ ক্রোমোসোমটি বিভক্ত হওয়ার পর ক্রসিং ওভার ঘটে এবং তখনই উপরি-উক্তরূপ ফীনোটাইপ (হলুদ দেহবর্ণ ও লাল চোখ) পাওয়া সম্ভব হয়। ক্রোমোসোমগুলি বিভক্ত হওয়ার আগে ক্রসিং ওভার ঘটলে উপরি-উক্তরূপ ফীনোটাইপ পাওয়া সম্ভব হত না।

**✱ ক্রসিং ওভার যে কারণসমূহের দ্বারা প্রভাবিত হয়ঃ** পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, যেকোন দুটি লোকাসের ভেতর ক্রসিং ওভারের শতকরা হার

লোকাস্‌দু'টির মধ্যবর্তী দূরত্বের ওপর নির্ভরশীল। স্বাভাবিক অবস্থায় উপরি-উক্ত বক্তব্যটি নির্ভুল হ'লেও, সবসময়ে ওরকম হতে দেখা যায় না। কেননা, ক্রসিং ওভার নানা কারণের (factors) দ্বারা প্রভাবিত হয়। নীচে সেই কারণগুলির উল্লেখ করা হ'ল।

**এক ॥ সেক্স্‌-এর প্রভাব:** স্ত্রী ড্রসোফিলায় উচ্চহারে ক্রসিং ওভার ঘটলেও পুরুষ ড্রসোফিলায় মোটেই ক্রসিং ওভার হয় না। যদিও উভয়-ক্ষেত্রেই জীনগুলির দূরত্ব একইপ্রকার। স্তন্যপায়ী প্রাণিদের (mammals) পুরুষে ক্রসিং ওভারের শতকরা হার স্ত্রীদের তুলনায় কম। মোটকথা, হেটেরোগ্যামেটিক সেক্স্‌-এ (heterogametic sex) হোমোগ্যামেটিক সেক্স্‌-এর (homogametic sex) তুলনায় স্বল্পহারে ক্রসিং ওভার ঘটে থাকে।

**দুই ॥ বয়সের প্রভাব:** বয়োবৃদ্ধির সাথে-সাথে ক্রসিং ওভারের সার্বিক হার হ্রাস পেতে দেখা যায়।

**তিন ॥ উত্তাপের প্রভাব:** ড্রসোফিলায় স্বাভাবিকের চেয়ে কম অথবা বেশী উত্তাপে ক্রোমোসোমের কোন-কোন অংশে ক্রসিং ওভারের হার বৃদ্ধি পায়।

**চার ॥ ক্রোমোসোমখণ্ডের পুনর্বিন্যাসের** (rearrangement) **প্রভাব:** ক্রোমোসোমের কোন-কোন অংশে ক্রসিং ওভার কখনও-কখনও সম্পূর্ণরূপে দমিত (suppressed) হয়। এটা খুব সম্ভবত আকস্মিক ইনভার্শন[১]-এর (inversion) ফল।

১ ২ ৩ ৪

(ক)

১ ২ ৩ ৪

(খ)

১ ৩ ২ ৪

(গ)

১ কোন ক্রোমোসোম কোন কারণে তিনটি অংশে খণ্ডিত হওয়ার পর তার মাঝের অংশটি যদি ১৮০° আবর্তিত হয়ে দু'-পাশের দু'টি খণ্ডের সাথে পুনরায় যুক্ত হয়ে যায়, তাহলে ঘটনাটিকে 'ইনভার্শন' বলা হয়। ইনভার্শনের ফলে জীনগুলির পর্যায়ক্রম (sequence) উল্টে যায় (২০ নং চিত্র)।

**পাচ ॥ আন্তঃক্রোমোসোমীয়** (interchromosomal) **প্রভাব** : ড্রসোফিলায় ইনভার্শনের ফলে কোন-কোন হমলগাস ক্রোমোসোমে ক্রসিং ওভার হ্রাস পেলে, নন্-হমলগাস (non-homologous) ক্রোমোসোমে ঐ হার বৃদ্ধি পেতে দেখা যায়। দুই বা তদোধিক নন্-হমলগাস ক্রোমোসোমের মধ্যে অংশ-বিশেষের রদবদলের ফলে, যাকে ট্র্যান্সলোকেশন (translocation) বলা হয়, ক্রসিং ওভার সংখ্যার তারতম্য ঘটে।

**ছয় ॥ মিউটেশন-এর** (mutation) **প্রভাব** : গাওয়েন (Gowen) ড্রসোফিলায় একটি মিউটেশনের ফলে সবক'টি ক্রোমোসোমেই ক্রসিং ওভারের হার হ্রাস পেতে দেখেছেন।

**সাত ॥ এক্স্-রশ্মির** (X-ray) **প্রভাব** : সেন্ট্রোমীয়ারের (centromere) কাছাকাছি জায়গায় এক্স্-রশ্মির প্রভাবে ক্রসিং ওভারের হার বৃদ্ধি পায়। এর কারণ, সেন্ট্রোমীয়ারের দু'পাশে খানিকটা করে হেটেরোক্রোমাটিক (heterochromatic) অঞ্চল থাকে, এবং এক্স্-রশ্মির প্রভাবে ঐ হেটেরোক্রোমাটিক অঞ্চল খণ্ডিত হয়। এর ফলেই ক্রসিং ওভার সংঘটিত হয়।

## *ক্রসিং ওভারের গুরুত্ব (significance) :

**এক ॥** ক্রসিং ওভারের দ্বারা ক্রোমোসোমখণ্ডের বিনিময়ের ফলে জীন-এর নতুন কম্বিনেশন (combination) গঠিত হয়। এর ফলে জেনেটিক ভ্যারিয়েশনের (genatic variation বা জেনেটিক প্রকরণ) উদ্ভব হয়। এই জেনেটিক ভ্যারিয়েশন সৃষ্টির দ্বারা একটি জীব-সংখ্যার (population) ইভলিউশনারি পোটেন্শ্যাল-এর (evolutionary potential বা অভিব্যক্তি-সংক্রান্ত বিভব) বৃদ্ধি ঘটে।

**দুই ॥** ক্রসিং ওভারের শতকরা হার নিরূপণের দ্বারা ক্রোমোসোম ম্যাপ[১] (chromosome map) তৈরী করা সম্ভব হয়।

**তিন ॥** *জীনগুলি যে ক্রোমোসোমের ওপর একটি সরল রেখায় বিন্যস্ত* (linearly arranged), ক্রসিং ওভারের সাহায্যে তা' স্পষ্টভাবে প্রমাণিত হয়।

১ 'ক্রোমোসোম ম্যাপ' একটি রেখা, যার ওপর বিন্দুর (dot) সাহায্যে জীনগুলির অবস্থান দেখানো হয় এবং জীনগুলির মধ্যবর্তী দূরত্ব তাদের ভিতরকার ক্রসিং ওভারের শতকরা হার নিরূপণের দ্বারা নির্ধারিত হয়।

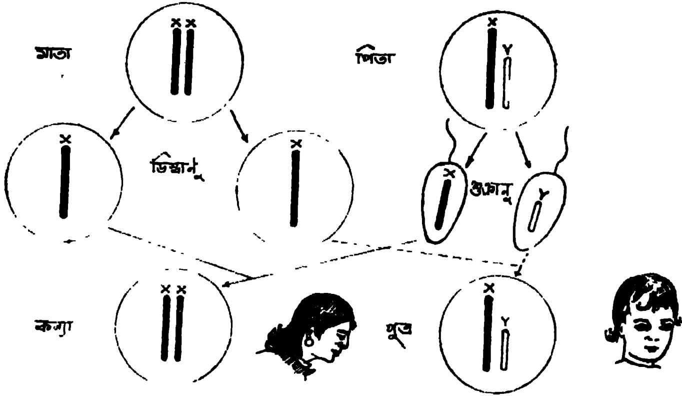
# ৪ ॥ সেক্স্ ডিটারমিনেশন

## (Sex Determination বা লিঙ্গ নির্ধারণ)

নতুন শিশুটি পুত্র হবে না কন্যা হবে তা নিয়ে ভাবী পিতামাতার জল্পনা-কল্পনার অন্ত থাকে না, এবং এ-ব্যাপারে পিতামাতার ইচ্ছা অনিচ্ছার কোন প্রশ্ন নেই। নিজেদের ইচ্ছানুযায়ী কারও পক্ষেই পুত্রসন্তান বা কন্যাসন্তান লাভ করা এখনও পর্যন্ত সম্ভব হয়নি। তবে এ-বিষয়ে গবেষণা চলছে। এখনও ব্যাপারটিকে সম্পূর্ণ আকস্মিক বলে ধরা হয়। গর্ভাধান (fertilization) কালেই শিশুটি পুত্র হবে না কন্যা হবে তা স্থির হয়ে যায়, অর্থাৎ, তার সেক্স্ বা লিঙ্গ নির্ধারিত হয়ে যায়। সেক্স্ ডিটারমিনেশন এবং সেক্স্ ডিফারেনশিয়েশন (sex differentiation বা লিঙ্গের ক্রমপ্রকাশ) দুটি আলাদা বিষয়। কোন সেক্স্ নির্ধারিত হওয়ার পর তার পরিবর্তন ঘটলে শেষোক্ত কারণে ঘটে। সেক্স্ নির্ধারিত হওয়ার পর আর তার পরিবর্তন ঘটানো সাধারণত সম্ভব হয় না। অবশ্য বিজ্ঞানের যেরকম তড়িৎ গতিতে উন্নতি ঘটছে তাতে ভবিষ্যতে ওরকম সম্ভাবনা সত্যে পরিণত হতে পারে। তাতে আবার নানারকম সামাজিক সমস্যারও সৃষ্টি হতে পারে। এখন দেখা যাক, কিভাবে বিভিন্ন জীবে সেক্স্ নির্ধারিত হয়।

**মনুষ্য-জাতিতে সেক্স্ নির্ধারণের কৌশল** (**Sex ditermining mechanism in man**)ঃ আমরা জানি ডিপ্লয়েড কোষে ক্রোমোসোমগুলি জোড়ায়-জোড়ায় (in pairs) উপস্থিত থাকে। স্ত্রীলোকদের ক্ষেত্রে এই উক্তি সম্পূর্ণরূপে নির্ভুল। কিন্তু পুরুষদের ক্ষেত্রে প্রতিটি ডিপ্লয়েড কোষের ভিতর এমন দু'টি ক্রোমোসোম দেখা যায়, যারা পরস্পরের অনুরূপ নয়। এদের একটি এক্স্-ক্রোমোসোম (X-chromosome) এবং অপরটি ওয়াই-ক্রোমোসোম (Y-chromosome) রূপে পরিচিত। স্ত্রীলোকদের কোষে এক্স্-ওয়াই (XY) জোড়ার পরিবর্তে একজোড়া এক্স্-ক্রোমোসোম (XX) থাকে। স্ত্রী এবং পুরুষের মধ্যে যে সেক্স্-ক্রোমোসোমটি (sex-chromosome) আকারে অনুরূপ তাকে এক্স্-ক্রোমোসোম বলা হয়। স্ত্রীলোকদের ডিম্বাশয়ে ডিম্বাণু (ovum) সৃষ্টির কালে যখন মায়োটিক বিভাজন ঘটে তখন প্রতিটি ডিম্বাণু অন্যান্য ক্রোমোসোমের সাথে একটি করে এক্স্-ক্রোমোসোম (X) লাভ করে (২১ নং চিত্র)। অপরপক্ষে, পুরুষদের শুক্রাণু (sperm) সৃষ্টির সময় অর্ধেক-সংখ্যক শুক্রাণু একটি করে এক্স্-(X) এবং অপর অর্ধেক শুক্রাণু একটি করে ওয়াই-

ক্রোমোসোম (Y) লাভ করে (২১ নং চিত্র)। একটি ডিম্বাণু (X) এক্স্- বা ওয়াই-সমন্বিত (X or Y) যেকোন একটি শুক্রাণু দ্বারা




২১ নং চিত্রঃ—মানবজাতিতে সেক্স্-নির্ধারণ।

নিষিক্ত (fertilized) হতে পারে। ফলে নিষিক্ত ডিম্বাণুগুলিতে হয় দু'টি এক্স্ (XX) অথবা একটি এক্স্ এবং একটি ওয়াই (XY) ক্রোমোসোমের আবির্ভাব ঘটে। নিষিক্ত ডিম্বাণুগুলির মাইটোটিক বিভাজনের (mitotic division) ফলে যে শিশুগুলির জন্মলাভ হবে তাদের কোনটির কোষে দু'টি এক্স্ (XX) এবং কোনটির কোষে একটি এক্স্ ও একটি ওয়াই (XY) ক্রোমোসোম থাকবে এবং শিশুগুলি যথারীতি কন্যা বা পুত্র হবে।

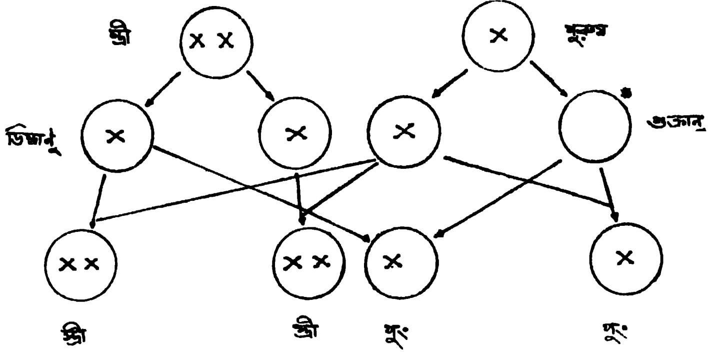
মনুষ্যজাতির সেক্স্ নির্ধারণের ব্যাপারটি X এবং Y ক্রোমোসোমের আনুপাতিকতার (balance between X and Y) ওপর মূলত নির্ভরশীল। অটোসোমগুলি সেক্স্ নির্ধারণের ব্যাপারে মোটেই জড়িত নয় বলেই বিশ্বাস। বর্তমানকালে মনুষ্য-জাতির কতিপয় বংশানুক্রমিক রোগগ্রস্ত ব্যক্তির (persons with hereditary diseases) ক্রোমোসোম পরীক্ষা করে X এবং Y-এর আনুপাতিকতার ওপর সেক্স্ নির্ধারণ প্রক্রিয়াটি নির্ভরশীল বলে অনুমান করা হচ্ছে। 'ক্লাইনফেল্টার-এর সিনড্রোম'-বিশিষ্ট (Klinefelter's syndrome) রোগীদের মধ্যে, যাদের বাহ্যিক প্রকাশ পুরুষের মত, নানারূপ ক্রোমোসোম সংখ্যা পাওয়া গেছে; যেমন, ৪৭ = ৪৪ XXY, ৪৮ = ৪৪ XXXY, ৪৯ = ৪৪ XXXXY, ৪৮ = ৪৪ XXYY ইত্যাদি। অন্যদিকে, 'টারনার-এর সিনড্রোম'-বিশিষ্ট (Turner's syndrome) রোগীদের বাহ্যিক প্রকাশ স্ত্রীলোকের মত এবং

তাদের ক্রোমোসোম-সংখ্যা নিম্নলিখিত প্রকারের হতে দেখা গেছেঃ— ৪৫ = ৪৪ X, ৪৭ = ৪৪ XXX ইত্যাদি। আবার, 'মঙ্গোলিজ্‌ম্' (mongolism) বা 'ডাউন্স্-এর সিনড্রোম'-বিশিষ্ট (Downs' syndrome) রোগীদের ক্ষেত্রে সাধারণত ২১ নং অটোসোমটি সংখ্যায় ১টি বেশী থাকে যেমন ৪৭ = ৪৫ XX বা XY। উপরি-উক্ত উদাহরণগুলি থেকে বোঝা যায় যে মনুষ্য-জাতির সেক্স্-নির্ধারণ ব্যাপারটি X এবং Y-এর অনুপাতের ওপর নির্ভরশীল এবং একটি Y-এর পুংলিঙ্গ প্রকাশের ক্ষমতা স্ত্রীলিঙ্গ নির্ধারক ৪টি এক্স্-ক্রোমোসোমের সমান। এই অধ্যায়ের পরবর্তী অংশে দেখা যাবে যে মনুষ্য-জাতির সেক্স্-নির্ধারণ কৌশলের সঙ্গে 'মেলানড্রিয়াম' নামক উদ্ভিদের সেক্স্-নির্ধারণ কৌশলের খুব মিল আছে এবং এরা আলোচ্য ব্যাপারে ড্রসোফিলা থেকে ভিন্ন।

এক্স্ এবং ওয়াই (X and Y) ক্রোমোসোমগুলি সেক্স্-নির্ধারণে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে বলে তাদের **সেক্স্ ক্রোমোসোম** (sex chromosome) বলা হয়। বাকী ক্রোমোসোমগুলি **অটোসোম** (autosome)-রূপে পরিচিত। এইজন্য মনুষ্য-জাতির স্ত্রী এবং পুরুষের ৪৬টি ক্রোমোসোমের মধ্যে ৪৪টিকে বা ২২ জোড়াকে অটোসোম এবং ১ জোড়াকে সেক্স্-ক্রোমোসোম বলা হয়।

**সেক্স্-নির্ধারণ কৌশলের আবিষ্কারঃ** নিম্নশ্রেণীর প্রাণী থেকে সেক্স্ নির্ধারণের কৌশল সম্পর্কে প্রথম আমাদের জ্ঞান আহরিত হয়। ১৮৯১ সালে **হেন্‌কিঙ** (Henking) 'পাইরোকরিস অ্যাপ্‌টেরাস' নামে একপ্রকার পুরুষ গান্ধী-পোকায় (Heteroptera) সর্বপ্রথম সেক্স্-ক্রোমাটিন অবলোকন করেন, কিন্তু তার তাৎপর্য তখন তিনি উপলব্ধি করতে পারেন নি। **ম্যাক্‌ক্লুঙ** (McClung) সেক্স্ নির্ধারণে এক্স্‌ক্রোমোসোমের একটি ভূমিকা আছে বলে অনুমান করেন এবং ১৯০২ সালে ঘাসফড়িঙে (grasshopper) তিনি এক্স্-ক্রোমোসোমের উক্ত ভূমিকার স্পষ্ট বিবরণ দেন। অবশ্য ম্যাক্‌ক্লুঙ-এর ধারণা ছিল যে স্ত্রী-ঘাসফড়িঙে কোন এক্স্-ক্রোমোসোম থাকে না, এবং নিষিক্ত ডিম্বাণুর ভেতর এক্স্- ক্রোমোসোমের অনুপস্থিতিতে স্ত্রী এবং উপস্থিতিতে পুরুষ ঘাসফড়িঙের উৎপত্তি হয়। পরে জানা গেছে যে, দুটি এক্স-ক্রোমোসোমের উপস্থিতিতে স্ত্রী এবং একটির উপস্থিতিতে পুরুষ ঘাসফড়িঙ সৃষ্টি হয়ে থাকে (২২ নং চিত্র)। ১৯০৫ সালে **মিস এন. এম. স্টিভেন্স** (Miss N. M. Stevens) কতকগুলি পতঙ্গকে তাঁর গবেষণার উপাদান হিসাবে গ্রহণ করে সর্বপ্রথম সেক্স্-নির্ধারণের কৌশলের একটি পূর্ণাঙ্গ বিবরণ প্রদান করেন। এর অল্পকাল

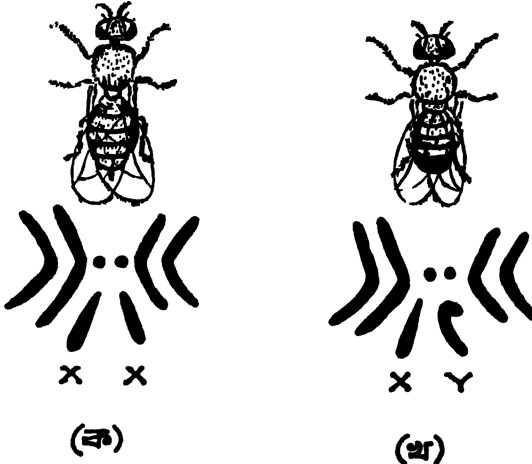
পরেই **ঈ. বি. উইলসন**-ও (E. B. Wilson) অন্য আরও কয়েকটি পতঙ্গে একই উপায়ে সেক্স্-নির্ধারিত হওয়ার ঘটনা অবলোকন করেন।




* Y বা অন্য কোন সেক্স ক্রোমোসোম নেই,

২২ নং চিত্রঃ—ঘাস ফড়িঙের সেক্স্-নির্ধারণ।

[ছবিতে একদম নীচের সারির সবচেয়ে ডানদিকের পুরুষটির সৃষ্টির ব্যাপারে ভুলক্রমে একটি এক্স্-বিহীন শুক্রাণুর সঙ্গে এক্স্-যুক্ত আর একটি শুক্রাণুর সংযোগ রেখার সাহায্যে দেখানো হয়েছে। প্রকৃতপক্ষে, প্রথমোক্ত শুক্রাণুটির সঙ্গে আর একটি এক্স্-যুক্ত শুক্রাণুর পরিবর্তে একটি এক্স্-যুক্ত ডিম্বাণুর সংযোগ দেখানোই উদ্দেশ্য ছিল।]




২৩ নং চিত্রঃ—'ড্রসোফিলা মেলানোগ্যাস্টার'-এর ক্রোমোসোম। (ক) স্ত্রীর; (খ) পুরুষের।

**ড্রসোফিলায় সেক্স্-নির্ধারণের কৌশল :** ড্রসোফিলায় সেক্স্-নির্ধারণ কৌশল মনুষ্যজাতির সেক্স্-নির্ধারণ কৌশলের অনুরূপ। 'ড্রসোফিলা মেলানোগ্যাস্টার' (*Drosophila melanogaster*) নামক ফলের মাছিতে সর্বসমেত চার জোড়া ক্রোমোসোম আছে। স্ত্রী ও পুরুষ উভয়েরই দু'জোড়া করে ক্রোমোসোম 'ভি' (V) আকৃতিবিশিষ্ট (তাদের ২য় ও ৩য় জোড়া ক্রোমোসোম বলা হয়) এবং এক জোড়া বিন্দুর (dot) ন্যায় (তাকে ৪র্থ জোড়া বলে)। অবশিষ্ট ১ম জোড়ার দু'টি ক্রোমোসোমই স্ত্রী-পতঙ্গের ক্ষেত্রে একই আকৃতির, কিন্তু পুরুষদের ক্ষেত্রে তারা ভিন্ন আকৃতির হয় (২৩ নং চিত্র)। পুরুষ পতঙ্গে এদের মধ্যে একটি রড্-এর বা দণ্ডের ন্যায় (rod like) এবং অপরটির একটি প্রান্ত বাঁকানো। দণ্ডের আকৃতিবিশিষ্ট ক্রোমোসোমটিকে এক্স্-(X) এবং বাঁকানোটিকে ওয়াই-(Y) ক্রোমোসোম বলা হয়। স্ত্রী পতঙ্গে পুরুষের ন্যায় একটি এক্স্- এবং ওয়াই-ক্রোমোসোমের পরিবর্তে আর একটি এক্স্-ক্রোমোসোম থাকে। অর্থাৎ, স্ত্রী মাছিতে ১ জোড়া এক্স্-ক্রোমোসোম থাকে।

মনুষ্যজাতির ন্যায় এদের ডিম্বাণুগুলিও মাত্র এক প্রকারের (এক্স্-সমন্বিত) এবং শুক্রাণুগুলি দু'প্রকারের (অর্ধেক এক্স্-সমন্বিত ও বাকী অর্ধেক ওয়াই-সমন্বিত) হয়। এক্স্-সমন্বিত শুক্রাণুর দ্বারা নিষিক্ত ডিম থেকে স্ত্রী-পতঙ্গ এবং ওয়াই-সমন্বিত শুক্রাণুর দ্বারা নিষিক্ত ডিম থেকে পুরুষ-পতঙ্গের উৎপত্তি হয়।

**বিভিন্ন প্রাণির সেক্স্-ক্রোমোসোম সংকেত (Sex-chromosome formula of different animals) :** সকল প্রকার প্রাণির সেক্স্-ক্রোমোসোম সংকেত মনুষ্যজাতি এবং ড্রসোফিলার মত (পুরুষ—XY; স্ত্রী—XX) নয়। পক্ষীকুল, মথ এবং প্রজাপতির ক্ষেত্রে এই সংকেত ঠিক বিপরীত ধরণের—পুরুষেরা হোমোগ্যামেটিক (homogametic) ধরণের অর্থাৎ, এক জোড়া এক্স্-বহন করে; আর স্ত্রীরা হেটেরোগ্যামেটিক (heterogametic) ধরণের অর্থাৎ, তারা একটি এক্স্- এবং একটি ওয়াই-বহন করে। কোন-কোন পতঙ্গে (যথা :—ঘাসফড়িং, পঙ্গপাল ইত্যাদি) ওয়াই-ক্রোমোসোমটি সম্পূর্ণরূপে অনুপস্থিত থাকে। তাদের স্ত্রী-জাতির সংকেত এক্স্-এক্স্ (XX) এবং পুরুষ-জাতির একটি এক্স্[১] (XO)।

দু'টি এক্স্-বিশিষ্ট (XX) সেক্স্ **হোমোজাইগাস সেক্স্** (homozygous sex) এবং একটি এক্স্ (XO) বা একটি এক্স্ ও একটি ওয়াই-

১ এক্ষেত্রে পুরুষদের সংকেতটি সচরাচর একটি 'এক্স্' লেখার পরিবর্তে 'XO' লেখা হয়—'O' প্রতীকের দ্বারা একটি এক্স্-এর অনুপস্থিতি বোঝানো হয়।

বিশিষ্ট (XY) সেক্স্‌কে **হেটেরোজাইগাস সেক্স্** (heterozygous sex) বলা হয়। মনুষ্যজাতি, ড্রসোফিলা, ঘাসফড়িং ইত্যাদির ক্ষেত্রে স্ত্রী-রা 'হোমোজাইগাস সেক্স্' এবং পুরুষরা 'হেটেরোজাইগাস সেক্স্'। পক্ষী-কুল, মথ ও প্রজাপতির ক্ষেত্রে পুরুষরা 'হোমোজাইগাস' এবং স্ত্রী-রা 'হেটেরোজাইগাস সেক্স্'।

**জেনিক ভারসাম্যের মত** (Theory of genic balance) **: গোল্ডস্মিড** (Goldschmidt) ১৯০১ সালে ঘোষণা করেন যে, অপরাপর বৈশিষ্ট্যের ন্যায় 'সেক্স্'-ও বহু জীনের ইণ্টারঅ্যাক্‌শনের (interactions বা পারস্পরিক ক্রিয়া) দ্বারা নির্ধারিত হয়। এই জীনগুলি 'সেক্স্-ক্রোমোসোম' এবং 'অটোসোম' এই দু'প্রকার ক্রোমোসোমের ভিতরেই ছড়ানো থাকে।

ড্রসোফিলার ওপর পরীক্ষা চালিয়ে **ব্রিজেস** (Bridges) দেখান যে, নারীত্ব নির্ধারণের জীনগুলি এক্স্-ক্রোমোসোমে এবং পুরুষত্ব নির্ধারণক্ষম জীনগুলি অটোসোমে অবস্থিত। এক্স্-ক্রোমোসোমের একাধিক জীন, সম্ভবত বহুসংখ্যক জীন, নারীত্বকে নিয়ন্ত্রিত করে। পুরুষত্ব নিয়ন্ত্রণকারী জীনগুলি ওয়াই-ক্রোমোসোমে থাকে না; সেগুলি অটোসোম-সমূহের মধ্যে ছড়ানো থাকে। অতএব, প্রতিটি পতঙ্গের ভিতর দু'প্রকার সেক্স্ নির্ধারণকারী জীনেরই অস্তিত্ব রয়েছে।

এক্স্-ক্রোমোসোম এবং অটোসোমে অবস্থিত জীনগুলির ইণ্টার-অ্যাক্‌শনের দ্বারাই যদি সেক্স্ নির্ধারিত হয়, তাহলে সেক্স্-নির্ধারণ প্রক্রিয়াটি স্পষ্টতই এক্স্ এবং অটোসোমের আপেক্ষিক পরিমাণের (relative amount) ওপর নির্ভরশীল, এক্স্-ক্রোমোসোমের পরম পরিমাণের (absolute amount) [অর্থাৎ, একটি বা দু'টি] ওপর নয়।

ড্রসোফিলায় দু' প্রস্থ (set) অটোসোমের সঙ্গে একটি এক্স্-ক্রোমোসোমের ইন্টারঅ্যাকশনের ফলে পুরুষত্বের এবং দু'টি এক্স্-ক্রোমোসোমের ইন্টারঅ্যাকশনের ফলে নারীত্বের সৃষ্টি হয়। অন্যভাবে বলা যেতে পারে যে, অটোসোম ও এক্স্-ক্রোমোসোমের অনুপাত ২ঃ১ হলে পুরুষত্বের এবং ২ঃ২ (অর্থাৎ ১ঃ১) হ'লে নারীত্বের আবির্ভাব হয়। এথেকে আশা করা যেতে পারে যে, এক প্রস্থ অটোসোমের সঙ্গে একটি এক্স্-ক্রোমোসোমের (অনুপাত ১ ঃ ১) ইণ্টারঅ্যাক্‌শনে নারীত্বের উদ্ভব হবে। এই ভারসাম্যের তফাত হ'লে সেক্সের সম্যক প্রকাশ বিঘ্নিত হবে। এই অনুমানের উপর ভিত্তি করে **এইচ. জে. মুলার** (H. J. Muller) ১৯১২ সালে প্রস্তাব করেন যে, **এক্স্-এক্স্** (XX), **এক্স্-ওয়াই** (XY) বা **এক্স্-ও** (XO) **সংকেতসম্পন্ন প্রাণিতে এক্স্ এবং অটোসোমের 'আপেক্ষিক সংখ্যার'**

দ্বারা সেক্স্ নির্ধারিত হয়। ব্রিজেস-এর (Bridges) পরীক্ষার দ্বারা এই মতটি অনুমোদিত হয় এবং তিনিই একে 'জেনিক ভারসাম্য মত' (Theory of Genic balance) বলে উল্লেখ করেন।

ব্রিজেস ড্রসোফিলায় পরীক্ষামূলকভাবে এক্স্ এবং অটোসোমের নানারূপ কম্বিনেশন (combination) সৃষ্টি করতে সক্ষম হন। প্রথম মায়োটিক বিভাজনের (প্রথম খণ্ডের দ্বাদশ অধ্যায় দ্রষ্টব্য) অ্যানাফেজ দশায় নন্-ডিস্জাংশন১-এর (non-disjunction) ফলে ক্রোমোসোমের অস্বাভাবিক (irregular) কম্বিনেশনের প্রথম উদ্ভব হয়। উজেনেসিস-এর (Oogenesis) সময় এক্স্-ক্রোমোসোমগুলির নন্-ডিস্জাংশন ঘটে একটি ডিম্বাণু দু'টি এক্স্ (XX) লাভ করে এবং অপরটি কোন এক্স্ (X) ক্রোমোসোমকেই পায় না।

স্বাভাবিক শুক্রাণু দ্বারা নিষেকের ফলে সৃষ্ট সবক'টি জাইগোট (zygote) দু' প্রস্থ করে অটোসোমে স্বত্ববান্ হয়েছিল। তাদের ভিতর কতকগুলি মাতার নিকট থেকে দু'টি এক্স্ (XX) এবং পিতার নিকট থেকে একটি ওয়াই (Y) লাভ করেছিল। এই এক্স্-এক্স্-ওয়াই (XXY) পতঙ্গগুলির চেহারা স্বাভাবিক স্ত্রী-পতঙ্গের মতই ছিল। স্বাভাবিক পুরুষ (XY) পতঙ্গের সঙ্গে ঐ এক্স্-এক্স্-ওয়াই (XXY) স্ত্রী-পতঙ্গগুলির ক্রস্ সংঘটিত করে ব্রিজেস নানারকম ক্রোমোসোম-সমবায়ের (chromosomal combination) সৃষ্টি করেন [যেমন, ২A২+XXX, ২A+XXY, ২A+XY, ২A+YY, ২A+XX ও ২A+XYY]। XXY কম্বিনেশন-যুক্ত পতঙ্গগুলি চেহারায় এবং বংশবৃদ্ধি ক্ষমতায় স্বাভাবিক স্ত্রী-পতঙ্গের মত ছিল, কিন্তু YY জাইগোটগুলি বাঁচে নি। এইরকম আরও কিছু পরীক্ষা-মূলক ক্রসের দ্বারা ব্রিজেস এমন কতকগুলি পতঙ্গ পান, যাদের ক্রোমোসোম-সমবায় ছিল ২A+XO। তাদের চেহারা স্বাভাবিক পুরুষ পতঙ্গের (XY) মত হয়েছিল, কিন্তু তাদের সন্তানোৎপাদন ক্ষমতা ছিল না। পরীক্ষার এই ফল থেকে ব্রিজেস বুঝতে পারেন যে, ড্রসোফিলায় সেক্স্ নির্ধারণে ওয়াই-ক্রোমোসোমের কোন ভূমিকা নেই; কিন্তু সন্তানোৎপাদন ক্ষমতার ওপর তার প্রভাব আছে।

পরীক্ষামূলকভাবে এক্স্-ক্রোমোসোম ও অটোসোমের নানারকম কম্বি-নেশন ঘটিয়ে ব্রিজেস নারীত্ব এবং পুরুষত্ব নির্ধারণে এক্স্ এবং অটোসোমের

১ যুগলবদ্ধ (paired) ক্রোমোসোমগুলি কোন কারণে পরস্পর থেকে পৃথক্ হতে না পারলে ঐ ঘটনাকে 'নন্ ডিস্জাংশন' আখ্যা দেওয়া হয়।

২ ২A = দু' প্রস্থ (set) অটোসোম।

আপেক্ষিক ক্ষমতা (relative potency) নির্ধারণ করেন (২ নং তালিকা)। ঐসকল পরীক্ষা থেকে দেখা যায় যে, দু' প্রস্থ অটোসোমের (২A) পুরুষত্ব নির্ধারণ ক্ষমতা এত বেশী থাকে যে তা সহজেই একটি এক্স্'-ক্রোমোসোমের (X) নারীত্ব নির্ধারণ ক্ষমতাকে দমিত (suppress) করতে পারে; ফলে, এরকম কম্বিনেশনযুক্ত পতঙ্গ পুরুষ পতঙ্গরূপে জন্মলাভ করে। দু'টি এক্স্ (XX) এবং দু' প্রস্থ অটোসোমের (২A) উপস্থিতিতে একটি স্বাভাবিক স্ত্রী পতঙ্গের সৃষ্টি হয়। ব্রিজেস প্রমাণ করেন যে, অটোসোমের প্রস্থ-সংখ্যা (number of sets) এবং এক্স্-ক্রোমোসোমের সংখ্যা সমান-সমান হ'লে নারীত্বের আবির্ভাব হয়। এক্স্-ক্রোমোসোমের সংখ্যার চেয়ে অটোসোমের প্রস্থ-সংখ্যা বেশী হ'লে পুরুষত্বের আবির্ভাব ঘটে।

### ২ নং তালিকা

(ড্রসোফিলায় অটোসোম ও এক্স্-ক্রোমোসোমের নানারূপ কম্বিনেশনে সৃষ্ট পুরুষ ও স্ত্রী)

| | |
|---|---|
| ২A + X | পুরুষ |
| ২A + XX | স্ত্রী |
| ৪A + XX | পুরুষ |
| ৩A + XXX | ট্রিপ্লয়েড স্ত্রী |
| ৪A + XXXX | টেট্রাপ্লয়েড স্ত্রী |
| ১A + X | হ্যাপ্লয়েড স্ত্রী |

মুলার-এর অনুমান এইভাবে ব্রিজেস-এর পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হয়। সমস্ত প্রাণী ও উদ্ভিদে সেক্স্ নির্ধারণে ক্রোমোসোমের ভূমিকা সম্পর্কে এরকম পূর্ণাঙ্গ অনুসন্ধান চালান সম্ভব হয় নি, কিন্তু অপ্রত্যক্ষ সাক্ষ্য-প্রমাণাদির দ্বারা এরূপ নির্দেশিত হয় যে, বহুক্ষেত্রেই জেনিক ভারসাম্যের অস্তিত্ব আছে।

**হাইমেনোপটেরায় (Hymenoptera) সেক্স্ নির্ধারণের কৌশল:** 'হাইমেনোপটেরা' বর্গভুক্ত পতঙ্গগুলিতে (যথা, মৌমাছি, পিপীলিকা, বোলতা ইত্যাদি) সেক্স্ নির্ধারণের একটি অদ্ভুত কৌশল দেখা গেছে। নিষিক্ত (fertilized) এবং অনিষিক্ত (unfertilized) দু'প্রকার ডিম থেকেই এই পতঙ্গগুলির উৎপত্তি হতে পারে। অনিষিক্ত ডিমগুলি পুরুষ পতঙ্গের জন্ম দেয়। নিষিক্ত ডিমগুলি থেকে সচরাচর স্ত্রী

পতঙ্গের সৃষ্টি হয়, কিন্তু মাতা ও পিতা খুব ঘনিষ্ঠ সম্পর্কযুক্ত (closely related) হ'লে কতকগুলি নিষিক্ত ডিম থেকে পুরুষ পতঙ্গের উৎপত্তি হতে দেখা যায়। তদনুসারে, পুরুষ পতঙ্গগুলি ডিপ্লয়েড (নিষিক্ত ডিম থেকে জন্ম হ'লে) অথবা হ্যাপ্লয়েড (অনিষিক্ত ডিম থেকে জন্ম হ'লে) দু'প্রকারেরই হতে পারে। কিন্তু স্ত্রী পতঙ্গগুলি সবসময়েই ডিপ্লয়েড হয়।

**পি. ডব্লিউ. হোয়াইটিঙ** (P. W. Whiting) 'হ্যাব্রোব্রেকন জুগ্ল্যান্ডিস' (*Habrobracon juglandis*) নামক একটি পরজীবি বোলতার উপর গবেষণা চলিয়ে উক্ত সমস্যাটির যথাযথ ব্যাখ্যা প্রদান করেন। হোয়াইটিঙ তাঁর পরীক্ষা থেকে সিদ্ধান্ত করেন যে, হ্যাব্রোব্রেকনে স্ত্রী ও পুরুষের মধ্যে সেক্স্-ক্রোমোসোমের কোন আকৃতিগত পার্থক্য নেই। উভয় ক্ষেত্রেই তারা অনুরূপ। তবে কোন একটি ক্রোমোসোমের একটি ক্ষুদ্র খন্ড আছে যেটিকে 'সেক্স্ খন্ড' (sex segment) বলা যেতে পারে। ঐ সেক্স্-খন্ডে মিউটেটেড অ্যালীল্‌যুক্ত একটি লোকাস্ আছে। এই মিউটেটেড অ্যালীল্‌গুলি বস্তুত 'মাল্টিপ্‌ল্ অ্যালীল'[১] (multiple allele)। একই লোকাসে এদের একাধিকবার মিউটেশন ঘটেছে। এইগুলিকে *a*, *b*, *c*, *d* প্রভৃতি প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করা যেতে পারে এবং এরা সকলেই রিসেসিভ্ বা প্রচ্ছন্ন প্রকৃতির। এদের নরম্যাল অ্যালীল্‌গুলি ডমিনান্ট বা প্রকট। একটি ডিপ্লয়েড পতঙ্গে যেকোন দু'টি অ্যালীল্ থাকতে পারে। স্ত্রী-পতঙ্গগুলি আলোচ্য লোকাসে হেটেরোজাইগাস (২৪ নং চিত্র)। এই

$a/+,\ b/+,\ c/+,\ d/+,\ a/b,\ b/c,\ c/d$ ইত্যাদি।
ডিপ্লয়েড স্ত্রী অর্থাৎ হেটেরোজাইগাস স্ত্রী।

$a/a,\ b/b,\ c/c,\ d/d$ ইত্যাদি।
ডিপ্লয়েড পুরুষ অর্থাৎ হোমোজাইগাস পুরুষ।

$a/,\ b/,\ c/,\ d/$ ইত্যাদি।
হ্যাপ্লয়েড পুং অর্থাৎ হেমিজাইগাস পুং।

২৪ নং চিত্র :—হ্যাব্রোব্রেকন-এর সেক্স্-খন্ডের জেনেটিক সংযুতি (genetic composition)

১ যখন কোন একটি জীনের একাধিক অ্যালীল্ থাকে তাকে 'মাল্টিপ্‌ল্ অ্যালীল্' বলা হয়, যেমন, ড্রসোফিলার সাদা চোখ (white eye) লোকাসের অন্য অ্যালীল্‌গুলি, যথা, কার্নেশন্ (carnation), এবনী (ebony) ইত্যাদি।

লোকাসে মিউটেটেড অ্যালীল্‌গুলি হোমোজাইগাস অবস্থায় উপস্থিত থাকলে পুরুষত্বের আবির্ভাব ঘটে (২৪ নং চিত্র)। হ্যাপ্লয়েড পুরুষগুলি এক অর্থে হোমোজাইগাস ডিপ্লয়েড পতঙ্গেরই সমতুল। কেননা, তাদের যে লোকাস্‌গুলিতে মিউটেটেড অ্যালীল্ থাকে, সেখানে তাকে দমিত (suppress) করার নর্‌ম্যাল অ্যালীল্ থাকে না।

ঘনিষ্ঠ সম্পর্কযুক্ত (closely related) দু'টি পতঙ্গের মধ্যে প্রজন-ক্রিয়া সাধিত হ'লে হোমোজাইগাস ডিপ্লয়েড পতঙ্গের সৃষ্টি হতে পারে। ধরা যাক, একটি রাণী বোলতার জীনোটাইপ $a/+$। যদি ঐ রাণীটি তার মাতার কাছ থেকে '$a$' অ্যালীল্‌টিকে পেয়ে থাকে তাহলে তার কোন-কোন ভাইয়ের মধ্যেও '$a$' অ্যালীল্‌টি থাকবে (যেহেতু তাদের মাতা এক-জনই), এবং তাদের মধ্যে প্রজন-ক্রিয়ার ফলে ($a/+ \times a/$) কতকগুলি নিষিক্ত ডিম '$a$' লোকাসে হোমোজাইগাস ($a/a$) হবে। এরকম নিষিক্ত ডিম থেকে পুরুষ হ্যাব্রোব্রেকন-এর আবির্ভাব হবে। অপরপক্ষে, ঐ স্ত্রী পতঙ্গটির সম্পর্কবিহীন (unrelated) একটি পুরুষ পতঙ্গের সঙ্গে প্রজন-ক্রিয়া ঘটলে ($a/+ \times b/$ বা $a/+ \times c/$) সবক'টি নিষিক্ত ডিমই হেটেরোজাইগাস হবে ($a/b$ বা $a/c$) এবং সেগুলি থেকে স্ত্রী পতঙ্গের সৃষ্টি হবে। এইভাবে, হ্যাব্রোব্রেকন-এ **সেক্স্-খণ্ডের একটি নির্দিষ্ট লোকাসের হোমোজাইগাস অথবা হেটেরোজাইগাস অবস্থার দ্বারা** সেক্স্ নির্ধারিত হয়ে থাকে।

**উদ্ভিদে সেক্স্ নির্ধারণ কৌশল:** অধিকাংশ সপুষ্পক উদ্ভিদ্‌ই (phanerogams) উভলিঙ্গ (hermaphrodite) তবে কোন-কোনটি একলিঙ্গ-ও (unisexual) হয়ে থাকে। একলিঙ্গ উদ্ভিদের দু'টি গোষ্ঠীর (স্ত্রী ও পুরুষ) মধ্যে ক্রোমোসোমসংক্রান্ত পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়। পুরুষ উদ্ভিদ্‌গুলি সচরাচর এক্স্-ওয়াই (XY) এবং স্ত্রী উদ্ভিদ্‌গুলি এক্স্-এক্স্ (XX) হয়ে থাকে।

ড্রসোফিলার ক্ষেত্রে সেক্স্ নির্ধারণে আমরা দেখেছি যে, ওয়াই-এর (Y) কোন ভূমিকা নেই। কিন্তু 'মেলান্‌ড্রিয়াম' (*Melandrium*) নামক একটি সপুষ্পক উদ্ভিদে **ওয়ার্মকে** (Wormke) ওয়াই-ক্রোমোসোমটিকে (Y) সেক্স্ নির্ধারণে সক্রিয় ভূমিকা গ্রহণ করতে দেখেছেন। তা' মনুষ্যজাতির সেক্স্ নির্ধারণের মত। ওয়ার্মকে তাঁর পরীক্ষাকালে নানারকম ডিপ্লয়েড ও পলিপ্লয়েড উদ্ভিদ্ পেয়েছিলেন যাদের মধ্যে এক্স্ (X), ওয়াই (Y) এবং অটোসোমের নানাপ্রকার কম্বিনেশন ছিল (৩ নং তালিকা)। ঐ তালিকা থেকে প্রতীয়মান হবে যে অটোসোমের সংখ্যার দ্বারা সেক্স্

নির্ধারিত হয় না। এক্স্ (X) এবং ওয়াই-এর (Y) অনুপাতের ভিত্তিতেই সেক্স্ নির্ধারিত হয়। যেমন, ২টি এক্স্-ক্রোমোসোম এবং ৪ প্রস্থ অটোসোমযুক্ত উদ্ভিদ্গুলি (৪A+XX) স্ত্রী উদ্ভিদে পরিণত হয়, যদিও

| ক্রোমোসোমের কম্বিনেশন | সেক্স্ | X ও Y-এর অনুপাত (X : Y) |
|---|---|---|
| ২A +XX | স্ত্রী | ২ : ০ |
| ২A +XXY | পুং | ২ : ১ |
| ২A +XY<br>৩A +XY<br>৪A +XY<br>৪A +XXYY | পুং | ১ : ১ |
| ৪A +XXXYY | পুং | ৩ : ২ |
| ২A +XXY | পুং | ২ : ১ |
| ৩A +XXY<br>৪A +XXY<br>৪A +XXXXYY | পুং (কখনও-কখনও উভলিঙ্গ পুষ্পও প্রস্ফুটিত হয়) | ২ : ১ |
| ৩A +XXXY<br>৪A +XXXY | পুং (কখনও-কখনও উভলিঙ্গ পুষ্পও প্রস্ফুটিত হয়) | ৩ : ১ |
| ৪A +XXXXY | উভলিংগ (কখনও-কখনও পুং পুষ্পও প্রস্ফুটিত হয়) | ৪ : ১ |

**৩ নং তালিকা :**—মেলান্ড্রিয়াম-এ অটোসোম ও সেক্স্-ক্রোমোসোমের নানারূপ কম্বিনেশন ও তদনুযায়ী সেক্স্ নির্ধারণ।

তাদের মধ্যে অটোসোম এবং এক্স্-ক্রোমোসোমের অনুপাত পুরুষ উদ্ভিদ্-গুলির মত (২ : ১)। সুতরাং, এক্ষেত্রে ড্রসোফিলার ন্যায় অটোসোম এবং এক্স্-ক্রোমোসোমের অনুপাতের দ্বারা সেক্স্ নির্ধারিত না হয়ে, এক্স্ (X) এবং ওয়াই-এর (Y) ইন্টারঅ্যাক্‌শনের দ্বারা সেক্স্ নির্ধারিত হয়। অ্যাক্সলোট্ল্ (Axolotl) নামক আম্ফিবিয়া-য় (amphibia) এবং মনুষ্য-

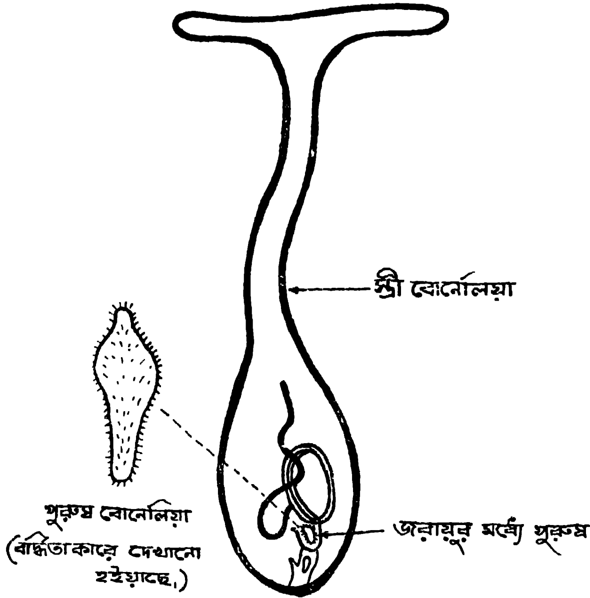
জাতি এবং ইঁদুরেও পুরুষত্ব নির্ধারণে ওয়াই-ক্রোমোসোমের (Y) একটি ভূমিকা আছে বলে জানা গেছে।

**সেক্স্ নির্ধারণে একটিমাত্র জীন-এর প্রভাব ঃ** পূর্বে বলা হয়েছে যে, স্বাভাবিক বৈশিষ্ট্যগুলির ন্যায় সেক্স্-ও বহুসংখ্যক জীনের ইণ্টার-অ্যাক্শনের বা পারস্পরিক ক্রিয়ার দ্বারা নির্ধারিত হয়। নামমাত্র কয়েকটি ক্ষেত্রে একটিমাত্র (single) জীন-কে তার ডিফারেনশিয়াল অ্যাক্শনের (differential action বা বৈষম্যমূলক ক্রিয়া) দ্বারা, সেক্স্ নির্ধারণকে প্রভাবিত করতে দেখা গেছে।

**স্টার্টিভাণ্ট** (Sturtevant) ড্রসোফিলায় 'tra' প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত এরূপ একটি জীন-এর উল্লেখ করেছেন, যেটির উপস্থিতিতে স্বাভাবিক ডিপ্লয়েড স্ত্রী পতঙ্গগুলির চেহারা পুরুষ পতঙ্গের ন্যায় হয় এবং তাদের সন্তানোৎপাদন ক্ষমতা থাকে না। 'Ha' প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত আর একটি জীন সম্পর্কে **গাওয়েন** (Gowen) ও তাঁর সহকর্মীরা অনুসন্ধান চালিয়েছিলেন (এটি সম্ভবত 'tra' জীনটির একটি অ্যালীল্)। এই জীনটির উপস্থিতিতে ২A+XX ক্রোমোসোমবিশিষ্ট স্বাভাবিক স্ত্রী পতঙ্গগুলি উভয়লিঙ্গত্ব ও বন্ধ্যাত্ব (sterility) প্রাপ্ত হয়। এদের গোনাড-এ (gonad) পুরুষ ও স্ত্রী লক্ষণ পরিলক্ষিত হয়।

**সেক্স্ নির্ধারণে বাহ্য পরিবেশের** (external environment) **প্রভাব ঃ** কোন-কোন নিম্নশ্রেণীর প্রাণীতে সেক্স্ নির্ধারণ প্রক্রিয়াটি ক্রোমোসোমের পরিবর্তে বাহ্য পরিবেশের ওপর নির্ভরশীল। এদের স্ত্রী ও পুরুষের জীনোটাইপ একইপ্রকারের। বাহ্য পরিবেশ থেকে পাওয়া কোন উদ্দীপনার সাহায্যে বিশেষধরণের সেক্সের ডেভেলপ্মেণ্ট (development বা পরিস্ফুরণ) ঘটে। উদাহারণস্বরূপ, সামুদ্রিক প্রাণী বোনেলিয়া-র (*Bonellia*) সেক্স্ নির্ধারণ কৌশলের উল্লেখ করা যেতে পারে। এই প্রাণীর পুরুষগুলি স্ত্রীদের তুলনায় আকারে খুব ছোট হয় এবং স্ত্রীদের দেহের ভেতর তারা বাস করে। প্রথমে স্ত্রীদের প্রোবোসিস্-এ (proboscis বা শুণ্ড) এবং পরে জনন নালীর (reproductive tract) ভেতরে আশ্রয় নেয় (২৫ নং চিত্র)। এই প্রাণিগুলি লার্ভাবস্থায় (larva) কোন নির্দিষ্ট সেক্সের হয় না। এই অবস্থায় একটি লার্ভা একটি স্ত্রী বোনেলিয়ার প্রবোসিসে আশ্রয় নিলে সেটি ধীরে-ধীরে পুরুষ বোনেলিয়ায় পরিণত হয়; কিন্তু সেটি যদি জলের ভিতর স্বাধীন জীবন যাপন করে, তাহলে সেটি স্ত্রী প্রাণিতে পরিণত হয়। উপরি-উক্ত দুটি ক্ষেত্রে বিকাশমান লার্ভা দুটির বাহ্য পরিবেশ ভিন্নপ্রকারের। প্রথম ক্ষেত্রে স্ত্রী প্রাণিটির দেহ

লার্ভার পরিবেশের একটি অংশ, কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে তা' নয়। অতএব, এক্ষেত্রে বাহ্য পরিবেশ-ই সেক্স্ নির্ধারণ করছে। বস্তুত বোনেলিয়ার সেক্স্




২৫ নং চিত্র ঃ—স্ত্রী বোনেলিয়া-র দীর্ঘচ্ছেদ।

নির্ধারণ ব্যাপারে হর্মোন-এর (hormone) প্রভাব পরিলক্ষিত হয়েছে এবং এই হর্মোন স্ত্রী-জাতির প্রোবোসিসের মধ্যে থাকে।

'ক্রেপিডুলা' (*Crepidula*) নামক একটি শামুকেও (snail) বাহ্য পরিবেশের দ্বারা সেক্স্ নির্ধারণ ক্রিয়াটি নিয়ন্ত্রিত হতে দেখা যায়। বোনেলিয়ার মত, এরাও বাচ্চা অবস্থায় স্ত্রী প্রাণিগুলির ঘন-সান্নিধ্যে লালিতপালিত হ'লে পুরুষ শামুকে পরিণত হয়। কিন্তু, ঐ সময়ে স্ত্রী প্রাণিগুলি হতে দূরে থেকে যদি তাদের বিকাশ ঘটে, তাহলে তারা স্ত্রী শামুকে পরিণত হয়ে থাকে। স্ত্রী প্রাণিগুলি থেকে ক্ষরিত কোন হর্মোন-জাতীয় পদার্থ বাচ্চাগুলির সেক্স্ ডেভেলপ্‌মেণ্টকে (sex development বা লিঙ্গ পরিস্ফুরণ) প্রভাবিত করে।

কোন-কোন প্রাণীর দেহে এক সেক্স্ থেকে অপর সেক্সে পরিবর্তিত হওয়ার কোন এক প্রকার কৌশলের অস্তিত্ব পরিলক্ষিত হয়। দৃষ্টান্ত-

স্বরূপ, 'অফ্রায়োট্রকা' (*Ophryotrocha*) নামক একটি সামুদ্রিক আনেলিডা-র (annelida) উল্লেখ করা যেতে পারে। এরা পুরুষ প্রাণিরূপে জীবন আরম্ভ করে এবং পরিণতি প্রাপ্ত হয়ে শুক্রাণু (sperms) সৃষ্টি করে। বয়োবৃদ্ধি ঘটতে ঘটতে এদের দেহে যখন অন্যূন ২০টি খণ্ডের (segment) সৃষ্টি হয়, তখন এরা স্ত্রী প্রাণিতে রূপান্তরিত হয় এবং ডিম্বাণু (ova or eggs) সৃষ্টি করতে থাকে। অনাহারজনিত কারণে অথবা পরীক্ষাগারে দেহাংশের বিচ্ছেদসাধনের (mutilation) ফলে দেহখণ্ডের সংখ্যা যদি কুড়ি-র (২০) কম হয়ে যায়, তাহলে প্রাণিটি পুনরায় পুরুষ প্রাণিতে রূপান্তরিত হয়। অতএব, এক্ষেত্রে দেহের আকার (size) এবং দেহখণ্ডের সংখ্যার দ্বারা সেক্স্ নির্ধারণ প্রভাবিত হচ্ছে।

**উভয়লিঙ্গ-জীবে সেক্স্ নির্ধারণ:** হাইড্রা, শামুক প্রভৃতি কয়েকটি প্রাণী উভয়লিঙ্গ (hermaphrodite), অর্থাৎ, তাদের দেহে শুক্রাশয় (testes) এবং ডিম্বাশয় (ovary) এই উভয়প্রকার গোনাড্-ই বর্তমান। একটি উভয়লিঙ্গ প্রাণির দেহের সর্বাংশে পুরুষত্ব ও নারীত্ব নিয়ন্ত্রণকারী উভয়প্রকার জীন-ই বিরাজ করে; কিন্তু দেহের কোন-কোন অংশে তাদের মধ্যে কেবলমাত্র একপ্রকার জীন-ই নিজেদের প্রকাশ করে এবং দেহের অন্যান্য অংশে বিপরীতধর্মী জীনগুলির প্রকাশ ঘটে। এদের অবস্থাটিকে বোনেলিয়ার অবস্থার সাথে তুলনা করা যেতে পারে; কেবল পার্থক্য হচ্ছে, এক্ষেত্রে বাহ্য পরিবেশের পরিবর্তে 'আভ্যন্তরীণ পরিবেশ' (internal environment) এক বা অপর সেক্সের ডেভেলপ্মেন্টে সাহায্য করছে।

**সেক্স্ নির্ধারণের সাইটোপ্লাজ্মীয় কৌশল** (Cytoplasmic mechanism of sex-determination): 'ডাইনোফাইলাস' (Dinophilus) নামক একটি সামুদ্রিক অ্যানেলিড-এ (annelid) এবং কতিপয় স্কেল-পতঙ্গে (scale insects) সেক্স্ নির্ধারণের একটি সাইটোপ্লাজ্মীয় কৌশলের কথা জানা গেছে। এরা দু'প্রকারের ডিম্বাণু উৎপন্ন করে—এই দু'শ্রেণীর ডিম্বাণুর সাইটোপ্লাজ্মে কিছু পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়। সেগুলির এক শ্রেণী থেকে কেবলমাত্র স্ত্রী এবং অপর শ্রেণী থেকে কেবলমাত্র পুরুষপ্রাণির উদ্ভব হয়ে থাকে।

উপরি-উক্ত বিভিন্ন প্রকারের উদাহরণ থেকে বোঝা গেল যে, সেক্স্ নির্ধারণ প্রক্রিয়াটি কোন একটি নির্দিষ্ট পথে চলে না। সেক্স্-নির্ধারণ ব্যাপারে এখনও অনেক কিছু জানার আছে।

# ৫ ॥ সেক্স্-লিঙ্ক্ড্ ইনহেরিট্যান্স

(Sex-linked inheritance বা লিঙ্গ-সংযোজিত উত্তরাধিকার)

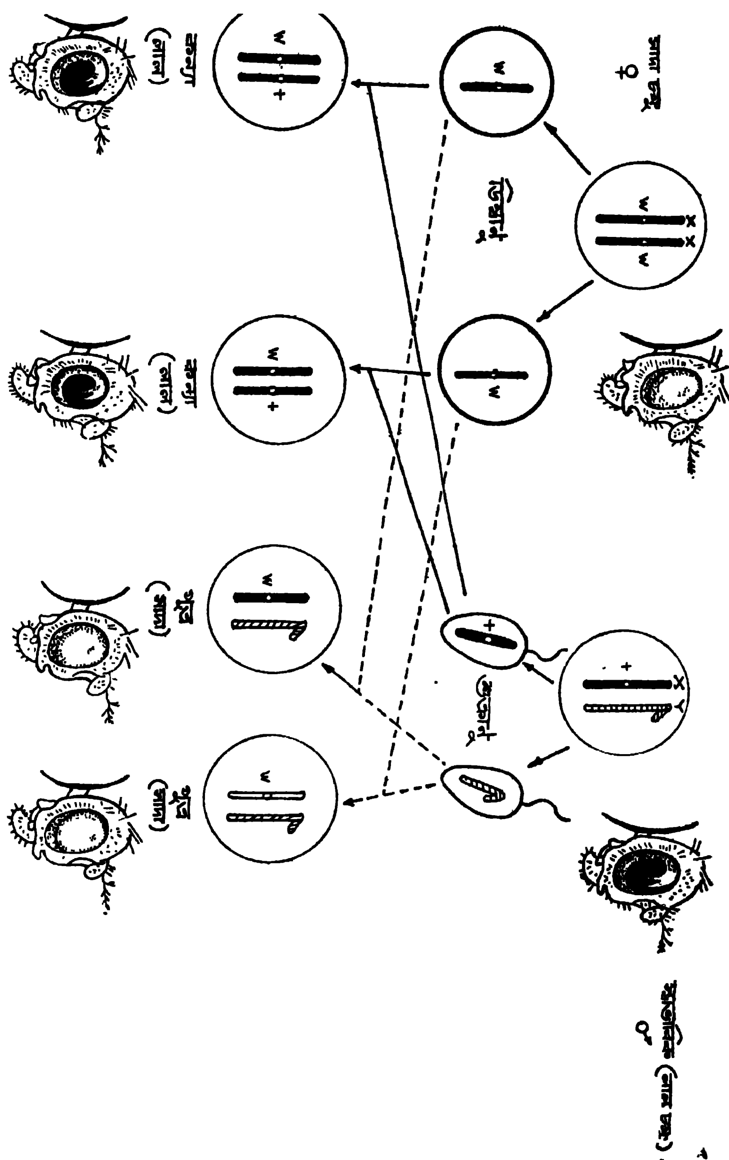
**সেক্স্-ক্রোমোসোমের মাধ্যমে পিতামাতা থেকে সন্তান-সন্ততিতে যে বৈশিষ্ট্য গুলি (প্রকৃতপক্ষে জীনগুলি) হস্তান্তরিত হয়, সেগুলিই সেক্স্-লিঙ্ক্ড্ ইনহেরিট্যান্স নামে পরিচিত।** সেক্স্ ক্রোমোসোমগুলি সেক্স্ নির্ধারণের জীনগুলি ছাড়াও অন্যান্য কিছু জীন বহন করে।

এইধরণের ইনহেরিট্যান্সের ঘটনা সর্বপ্রথম পরিলক্ষিত হয় ড্রসোফিলায়। পরবর্তীকালে মনুষ্যজাতিতে এবং আরও নানাপ্রকারের প্রাণী [যথাঃ—মথ, মুরগী, কতিপয় মাছ, নেংটী ইঁদুর (mouse), বিড়াল] ও কয়েকটি উদ্ভিদে (যথা, মেলান্ড্রিয়াম) এইপ্রকারের উত্তরাধিকারের ঘটনা ধরা পড়েছে। প্রকৃতপক্ষে, সেক্স্ ক্রোমোসোমসমন্বিত প্রত্যেক জীবেই সেক্স্-লিঙ্ক্ড্ ইনহেরিট্যান্স ঘটা সম্ভব। তবে, কোন জীবে সেক্স্-লিঙ্ক্ড্ জীন-এর মিউটেশন ঘটলে, কেবলমাত্র তখনই উপযুক্ত ক্রস্-এর (cross) মাধ্যমে সেক্স্-লিঙ্ক্ড্ ইনহেরিট্যান্স সম্পর্কে জানা সম্ভব হয়। অর্থাৎ, সেক্স্-লিঙ্ক্ড্ ইনহেরিট্যান্সের ঘটনা ধরা পড়ার পূর্বে সেক্স-লিঙ্ক্ড্ জীনের মিউটেশন হওয়া প্রয়োজন।

**ড্রসোফিলায় সেক্স্-লিঙ্ক্ড্ ইনহেরিট্যান্সঃ** সাদা চোখ বিশিষ্ট একটি স্ত্রী ড্রসোফিলার সঙ্গে স্বাভাবিক লাল চোখ-বিশিষ্ট একটি পুরুষ ড্রসোফিলার ক্রস্ ঘটলে, কন্যাগুলি লাল চোখ এবং পুত্রগুলি সাদা চোখ-বিশিষ্ট হয়। পরীক্ষার মাধ্যমে জানা গেছে যে উক্ত ঘটনাটি একটি সেক্স্-লিঙ্ক্ড্ ইনহেরিট্যান্সের ঘটনা।

চক্ষুবর্ণকে নিয়ন্ত্রণকারী জীনগুলির মধ্যে একটিতে মিউটেশনের ফলে চোখটি সাদা হয়। ঐ জীনটির (w) অবস্থান এক্স্-ক্রোমোসোমে এবং ওটি একটি রিসেসিভ্ (recessive বা প্রচ্ছন্ন) প্রকৃতির জীন। সাদা চোখ স্ত্রী-টির জীনোটাইপ w/w। যখন স্বাভাবিক পুরুষের (লাল চোখ-বিশিষ্ট) সঙ্গে তার ক্রস্ ঘটানো হয় (w/w ♀ × +/♂) তখন কন্যাগুলি সাদা লোকাস্-এ (white locus) হেটেরোজাইগাস হয় (w/+), ফলে তাদের চোখটি হয় লাল বর্ণের (সংকর লাল) এবং পুত্রগুলি সাদা লোকাস্-এ হেমিজাইগাস[১] (hemizygous, w/) হওয়ায় তাদের চোখগুলি হয় সাদা

১ যখন কোন একজোড়া অ্যালীলের মধ্যে মাত্র একটি উপস্থিত থাকে, সেই অবস্থাকে 'হেমিজাইগাস' অবস্থা বলা হয়।

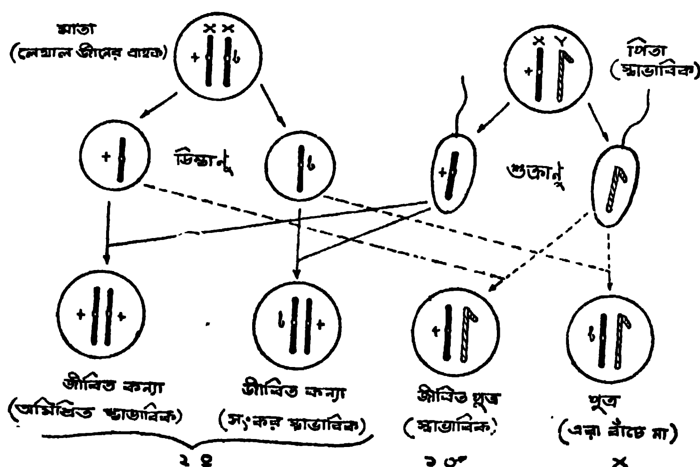



২৬ নং চিত্র ঃ—ড্রসোফিলায় সাদা চোখের সেক্স্‌-লিংক্‌ড্‌ ইন্‌হেরিট্যান্স। [ চিত্রের নীচের সারির সবচেয়ে ডানদিকের গোলাকার অংশের মধ্যেকার X-ক্রোমোসোমটি সাদা-র পরিবর্তে কালো রঙের হবে ]।

(২৬ নং চিত্র)। যদি কেরিয়ার (carrier বা বাহক) অর্থাৎ হেটেরোজাইগাস স্ত্রীর সাথে সাদা চোখ পুরুষের (w/+ ♀ × w/ ♂ ) মিলন ঘটে তবে পরবর্তী জননে শতকরা ২৫ ভাগ স্ত্রী মাছি সাদা চোখ, ২৫ ভাগ পুরুষ মাছি সাদা চোখ, ২৫ ভাগ স্ত্রী মাছি লাল চোখ (কিন্তু 'কেরিয়ার' অর্থাৎ সাদার বাহক) ও ২৫ ভাগ লাল চোখ-বিশিষ্ট পুরুষ মাছি জন্মাবে। এরূপ নানাপ্রকার ক্রসের ফলে নানারকম সংখ্যার লাল ও সাদা চোখের স্ত্রী ও পুরুষ মাছি জন্মাবে।

বিভিন্ন প্রাণিতে স্ত্রী ও পুরুষের সংখ্যার অনুপাত ১ঃ১ হয়ে থাকে। ড্রসোফিলার কোন-কোন পরিবারে (family) কখনও-কখনও এই অনুপাত (স্ত্রী ও পুরুষ) ২ঃ১ হতে দেখা যায়। একটি ছোট পরিবারে এরূপ ঘটনা খুব অস্বাভাবিক নয়। কিন্তু, ড্রসোফিলার একটি পরিবারে (যেখানে সন্তান-সন্ততির সংখ্যা সাধারণত ৩০০ বা ৪০০ হয়ে থাকে) এরূপ ঘটনা খুবই তাৎপর্যপূর্ণ।

আলোচ্য পরিবারের মাতার একটি এক্স্-ক্রোমোসোমে **লেথাল** (lethal) নামে একটি মিউটেটেড জীন থাকে (২৭ নং চিত্র)। এটি একটি




২৭ নং চিত্রঃ—ড্রসোফিলায় লেথাল জীনের সেক্স্-লিংক্‌ড্ ইন্‌হেরিট্যান্স।

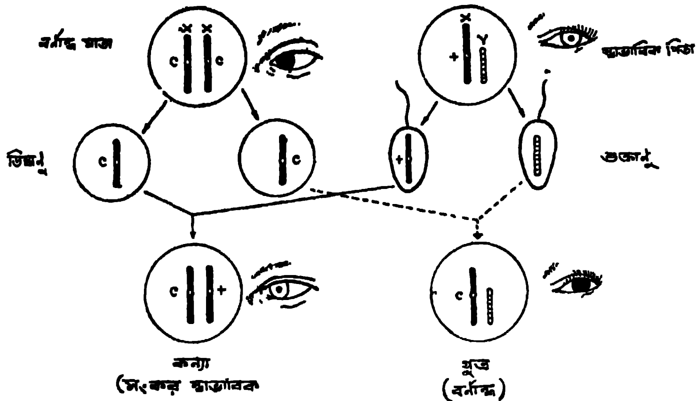
রিসেসিভ্ প্রকৃতির জীন। লেথাল জীনের উপস্থিতিতে কেরিয়ার বা বাহকের মৃত্যু ঘটে। কিন্তু এক্ষেত্রে মাতাটির মৃত্যু ঘটে না, কেননা তার দ্বিতীয় এক্স্-ক্রোমোসোমে লেথাল জীনটির ডমিনান্ট (dominant বা

প্রকট) নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌টি (+) থাকে যা' লেথাল-এর ক্রিয়াকে দমিত (suppress) করে। কিন্তু, এই মাতাটির অর্ধেকগুলি পুত্র লেথালযুক্ত এক্স্-ক্রোমোসোমকে লাভ করায় তাদের মৃত্যু ঘটে (২৭ নং চিত্র)। কারণ, পুরুষদের ওয়াই-ক্রোমোসোমে (Y) ঐ লেথাল ($l$) জীনের নর্‌ম্যাল অ্যালীল্ থাকে না। কন্যা সন্তানগুলি অন্যূন একটি করে নর্‌ম্যাল এক্স্-ক্রোমোসোম লাভ করার ফলে বেঁচে থাকে। এইভাবে আলোচ্য পরিবারে স্ত্রী ও পুরুষ ড্রসোফিলার অনুপাত দাঁড়ায় ২ঃ১, যা' সাধারণত ১ঃ১ হওয়া উচিত ছিল।

**মনুষ্যজাতিতে সেক্স্-লিংক্‌ড্ ইনহেরিট্যান্সঃ** বহুকাল পূর্বে, যীশুখ্রিস্টের জন্মেরও আগে, গ্রীক দার্শনিকগণ লক্ষ্য করেছিলেন যে মনুষ্যজাতিতে কতকগুলি বৈশিষ্ট্যের একটি জননে (generation) অনুপস্থিত থেকে তৎপরবর্তী জননে প্রকাশিত হওয়ার একটি প্রবণতা আছে। তাঁরা লক্ষ্য করেছিলেন যে পিতার কোন উত্তরাধিকারযোগ্য বৈশিষ্ট্য (heritable character) তাঁর কোন সন্তান-সন্ততিতে (পুত্র বা কন্যা) প্রকাশিত না হয়ে, তাঁর দৌহিত্রের (কন্যার পুত্র) ভিতর প্রকাশিত হয়। বর্তমানে জানা গেছে যে উক্তরূপ উত্তরাধিকারের মূলে আছে সেক্স্-লিংক্‌ড্ জীন (sex-linked genes)। নীচে মনুষ্যজাতির কয়েকটি সেক্স্-লিংক্‌ড্ ইনহেরিট্যান্স সম্পর্কে উপযুক্ত ব্যাখ্যা সহযোগে আলোচনা করা হ'ল। মনুষ্যজাতিতে পুরুষদের তুলনায় নারীদের ভিতর লাল-সবুজ **বর্ণান্ধতা**[১]-র (colour blindness) প্রকোপ অনেক কম। কিন্তু যদি দৈবাৎ কোন নারী বর্ণান্ধ হন এবং তাঁর সাথে একজন স্বাভাবিক পুরুষের বিবাহ সম্পাদিত হয়, তাহলে তাঁদের সবক'টি পুত্রই বর্ণান্ধ হবে। এর কারণ হচ্ছে, এক্স্-ক্রোমোসোমের ভিতর (সেক্স্ নির্ধারণকারী জীনগুলি ছাড়াও) বিভিন্ন বর্ণকে পৃথক্-পৃথক্‌ভাবে চেনবার ক্ষমতা নিয়ন্ত্রণকারী স্বাভাবিক জীনগুলিও থাকে। তাদের একটির রিসেসিভ্ (recessive) ধরণের মিউটেশনের ফলে বর্ণান্ধতার উৎপত্তি হয়। বর্ণান্ধতার জীনটিকে $c$ প্রতীক দ্বারা এবং তার নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌টিকে + প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করলে একজন বর্ণান্ধ নারীর দু'টি এক্স্-ক্রোমোসোমের প্রতিটিতেই একটি করে $c$ থাকবে (২৮ নং চিত্র)। অতএব, তাঁর জীনোটাইপ হবে $c/c$। একজন স্বাভাবিক পুরুষের

১ মানুষের মধ্যে কয়েকপ্রকারের বর্ণান্ধতা দেখা যায়। সচরাচর দৃষ্ট বর্ণান্ধ মানুষগুলি লাল ও সবুজ বর্ণের মধ্যে পার্থক্য বুঝতে পারে না এবং এই অবস্থাটিকে একসাথে **"লাল-সবুজ" বর্ণান্ধতা** ('red-green' colour blindness) বলা হয়।

এক্স্‌-ক্রোমোসোমে c-এর নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌টি (+) থাকে, কিন্তু তাঁর ওয়াই-ক্রোমোসোমে অনুরূপ কোন অ্যালীল্‌ থাকে না। ফলে তাঁর জীনোটাইপ হবে +/ (রেখাটির ডান পাশের ফাঁকা জায়গাটি আলোচ্য অ্যালীল্‌বিহীন ওয়াই-ক্রোমোসোমের অবস্থান সূচিত করছে)। পুত্রেরা

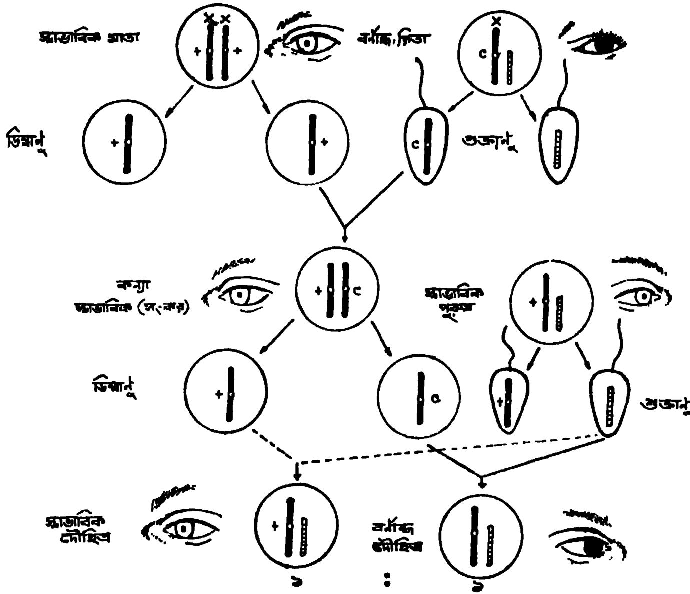



২৮ নং চিত্রঃ—বর্ণান্ধ মাতা ও স্বাভাবিক পিতার পুত্র-কন্যা।

যেহেতু মাতার কাছ থেকে তাদের এক্স্‌-ক্রোমোসোমটিকে লাভ করে থাকে, অতএব উপরিউক্তরূপ পিতামাতার প্রতিটি পুত্রের এক্স্‌-ক্রোমোসোমে বর্ণান্ধতার জীনটি (c) থাকবে, ফলে তারা সকলেই বর্ণান্ধ হবে। পক্ষান্তরে, কন্যারা মাতা এবং পিতা উভয়ের কাছ থেকেই একটি করে এক্স্‌-ক্রোমোসোম লাভ করে, এবং যেহেতু পিতার এক্স্‌-ক্রোমোসোমটিতে বর্ণান্ধতার ডমিনাণ্ট নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌টি অবস্থিত, সেইকারণে কন্যারা স্বাভাবিক হয়ে থাকে, যদিও বর্ণান্ধতার লোকাসে তারা সংকর (hybrid)।

আবার, একটি অমিশ্রিত স্বাভাবিক (pure normal) স্ত্রীলোকের (+/+) সাথে একজন বর্ণান্ধ পুরুষের (c/) বিবাহ সম্পাদিত হ'লে, তাঁদের কন্যারা স্বাভাবিক কিন্তু আলোচ্য লোকাসে পূর্বোক্ত ক্ষেত্রের মতই সংকর (+/c) হয়ে থাকে (২৯ নং চিত্র)। পুত্রেরা সকলেই স্বাভাবিক ধরণের (+/ ) হয়। উক্ত কন্যাগুলির সাথে স্বাভাবিক পুরুষের বিবাহ সম্পাদিত হ'লে (+/c ♀ X +/ ♂ ), তাঁদের অর্ধেকগুলি পুত্র বর্ণান্ধ (c/ ) হবে, অপর অর্ধেক হবে স্বাভাবিক (+/ )। কন্যারা সকলেই স্বাভাবিক হবে, যদিও তাদের মধ্যে অর্ধেক হবে সংকর। উপরিউক্ত আলোচনা থেকে, নারীদের ভিতর পুরুষদের তুলনায় বর্ণান্ধতার প্রকোপ কেন কম, তা' সহজেই

বোঝা যাচ্ছে। পিতা ও মাতা উভয়ের ভিতরেই বর্ণান্ধতার জীন থাকলে তবেই একটি বর্ণান্ধ কন্যার জন্ম হয়। অপরপক্ষে, কেবলমাত্র মাতার ভিতর ঐরূপ জীন থাকলেই পুত্রগুলি বর্ণান্ধ হয়ে থাকে। প্রথমোক্ত ঘটনাটির




২৯ নং চিত্রঃ—বর্ণান্ধ পুরুষের অর্ধেকগুলি দৌহিত্র কিভাবে বর্ণান্ধ হয় তার চিত্র-সংকেত।

তুলনায় দ্বিতীয়োক্ত ঘটনাটির সম্ভাবনাই বেশী। কেননা, মাতা ও পিতা পরস্পর সম্পর্কযুক্ত (related) না হ'লে উভয় কর্তৃক বর্ণান্ধতার জীনের কেরিয়ার বা বাহক হওয়ার সম্ভাবনাটি খুবই বিরল। বর্ণান্ধতা আপাত-দৃষ্টিতে খুব হানিকর না হ'লেও যান-বাহন চালানোর পক্ষে বিপদসংকুল। এইজন্য চালকদের এই পরীক্ষা করা হয়।

মানুষের আর একটি সুপরিচিত সেক্স্-লিঙ্ক্‌ড্ ইনহেরিট্যান্স হচ্ছে, **হিমোফিলিয়া** (haemophilia)। রক্তের তঞ্চিত (clot) হওয়ার বা জমাট-বাঁধার কৌশলের অস্বাভাবিকতাকেই 'হিমোফিলিয়া' বলা হয়। পুরুষে একটিমাত্র জীন-এর ($h$) উপস্থিতির ফলে রক্তের জমাট বাঁধতে অনেক বিলম্ব ঘটে। সামান্য একটু আঁচড়ের ফলে ক্রমাগত রক্তক্ষরণ হতে থাকে এবং তা থেকে অনেক ক্ষেত্রে মৃত্যুও ঘটে। আলোচ্য জীনটি এক্স্-

ক্রোমোসোমে অবস্থিত। পৃথিবীর বিভিন্ন দেশের অধিবাসীদের ভিতর হিমোফিলিয়ার ঘটনা খুব বিরল হ'লেও, ইউরোপের রাজকীয় পরিবারগুলিতে এই অ্যালীলের অস্তিত্ব ধরা পড়েছে।

মানুষের আর একটি সেক্স্-লিংক্ড্ ইনহেরিট্যান্স' হচ্ছে **রাত্র্যন্ধতা** (night blindness)। এরূপ বৈশিষ্ট্যসম্পন্ন মানুষ স্বল্পালোকে কোন জিনিষ দেখতে অত্যন্ত অসুবিধা বোধ করেন। হিমোফিলিয়া এবং রাত্র্যন্ধতার জীনদু'টি বর্ণান্ধতার জীনের মতই রিসেসিভ্ বা প্রচ্ছন্ন ধবণের জীন।

বর্ণান্ধতার উত্তরাধিকার সম্পর্কে আলোচনাকালে আমরা লক্ষ্য করেছি যে, অমিশ্রিত স্বাভাবিক (pure normal) মাতা এবং বর্ণান্ধ পিতার পুত্র-কন্যারা (অর্থাৎ $F_1$ জনন) সকলেই স্বাভাবিক হয়ে থাকে (২৯ নং চিত্র)। কিন্তু $F_2$ জননে তাঁদের দৌহিত্রদের (কন্যার পুত্রদের) ভিতর বর্ণান্ধতার পুনরাবির্ভাব ঘটে। এরূপ উত্তরাধিকারকে **ক্রিস্‌ক্রস্ ধরণের উত্তরাধিকার** (crisscross pattern of inheritance) বলা হয়। এই প্রকারের উত্তরাধিকারে, একটি পুরুষের বৈশিষ্ট্য তাঁর কন্যার মাধ্যমে (অপ্রকাশিত অবস্থায়) $F_2$ জননের পুত্রদের ভিতর আবির্ভূত হয়। অর্থাৎ, বৈশিষ্ট্যটি একটি জনন-কে (generation) পাশ কাটিয়ে তৎপরবর্তী জননে প্রকাশিত হয়।

মানুষের সেক্স্-লিংক্ড্ বৈশিষ্ট্যগুলির তালিকা দিনে-দিনে বৃদ্ধি পাচ্ছে। এরূপ বৈশিষ্ট্যের অন্যতম কয়েকটি হ'ল, নিস্ট্যাগ্মাস (nystagmus অর্থাৎ, নেত্রগোলকের অনৈচ্ছিক দোলন), অপ্টিক অ্যাট্রফি (optic atrophy, নেত্র-নার্ভের কৃশতাপ্রাপ্তি), জুভিনাইল গ্লকোম্যা (juvenile glaucoma, শিশুদের নেত্রগোলকের কাঠিন্যতাপ্রাপ্তি), মাইওপিয়্যা (myopia, দৃষ্টিক্ষীণতা), ত্রুটিপূর্ণ আইরিস (defective iris), জুভিনাইল মাস্কুলার ডিস্ট্রফি (juvenile muscular distrophy, শিশুদের কতকগুলি পেশীর কৃশতাপ্রাপ্তি), মাথার পিছনদিকে সাদা চুলের গুচ্ছ, মিট্রাল স্টেনোসিস (mitral stenosis, হৃদ্‌পিণ্ডের মিট্রাল ভাল্ভ-এর অস্বাভাবিকতা) ইত্যাদি।

# ৬ ॥ জীন

## (Gene)

জীন-কে যদিও এখনও পর্যন্ত দেখা সম্ভব হয় নি, তথাপি তার অস্তিত্ব সম্পর্কে জীন-বিজ্ঞানীদের (geneticists) মনে কোনপ্রকার সন্দেহ নেই। নানারকম অপ্রত্যক্ষ সাক্ষ্য-প্রমাণের দ্বারা তাদের অস্তিত্ব সন্দেহাতীতরূপে প্রমাণিত হয়েছে। আকারে বিন্দুর চেয়েও ক্ষুদ্র এই অংশগুলি ক্ষমতায় সিন্ধুর চেয়েও শক্তিসম্পন্ন। এদেরই সক্রিয়তায় কেউ হন আলফ্রেড আইনস্টাইন, কেউ বা মাইকেল এঞ্জেলো, আবার কেউ বা হন সমাজের নিকৃষ্টতম জীব। এদেরই সক্রিয়তায় মানুষের চন্দ্রলোকে উত্তীর্ণ হওয়ার চাবিকাঠিটি আবিষ্কৃত হয়েছে, এদেরই সক্রিয়তায় চতুর্দিকের হিংস্র-উমত্ততার মধ্যেও কবির কণ্ঠে শান্তির ললিতবাণী ধ্বনিত হয়েছে। কিন্তু দেখা গেছে যে, সু-জীনের (good genes) চেয়ে কু-জীনের (bad genes) সংখ্যা অনেক বেশী।

**জীন-এর সংজ্ঞা:** জীন-কে **রিকম্বিনেশন-এর চরম একক** (ultimate unit of recombination) বা **রেকন** (Recon) রূপে বর্ণনা করা হয়। অর্থাৎ ব্যাপারটি দাঁড়াচ্ছে, জীন ক্রোমোসোমদেহের কতকগুলি অংশ, তাদের যেকোন দুটির মধ্যে (between any two) ক্রসিং ওভার ঘটতে পারে, কিন্তু কোন একটির অভ্যন্তরে (within any of them) ক্রসিং ওভার সংঘটিত হতে পারে না। ড্রসোফিলা এবং ভুট্টার ক্ষেত্রে উপরিউক্ত সংজ্ঞা যুক্তিসিদ্ধ (valid) হলেও স্যালমোনেলা[১] (*Salmonella*) এবং কতকগুলি ব্যাক্টিরিওফাজ[২]-এর (bacteriophages) ক্ষেত্রে সাম্প্রতিক গবেষণার দ্বারা জানা গেছে যে, একই লোকাস-এর অ্যালীল্গুলির মধ্যে ক্রসিং ওভার ঘটা সম্ভব। বর্তমান যুগে জীনের আকারগত অবস্থার (structural gene) থেকে তার কার্যকরী সংজ্ঞার (functional unit) দিকে জীনবিজ্ঞানীদের বেশী ঝোঁক পড়ছে।

জীনকে **মিউটেশন-এর চরম একক** (ultimate unit of mutation) বা **মিউটন** (Muton) রূপেও বর্ণনা করা হয়ে থাকে। এই সংজ্ঞার দ্বারা জীনকে ক্রোমোসোমের পরিবর্তনক্ষম ক্ষুদ্রতম অংশ বলে কল্পনা করা হয়,

১ টাইফয়েড রোগ সৃষ্টিকারী ব্যাক্টিরিয়া।

২ ব্যাক্টিরিয়ার দেহে পরজীবীরূপে বসবাসকারী ভাইরাস (virus)।

যার পরিবর্তনের দ্বারা একটি পরিবর্তিত ফীনোটিপিক বৈশিষ্ট্যের আবির্ভাব ঘটে। স্যাল্‌মোনেলা ও ব্যাক্‌টিরিওফাজ্‌-এর ওপর পরীক্ষা দ্বারা জানা গেছে যে, ১০০ অ্যাংস্ট্রম (Angstrom) অথবা তার চেয়েও কম দূরত্বে অবস্থিত জীনগুলি ক্রসিং ওভারের দ্বারা পৃথক্‌ হতে পারে। তেজস্ক্রিয় রশ্মির সাহায্যে উৎপাদিত মিউটেশনের ফলে জীন-এর আকৃতি (size) সম্পর্কে যে ধারণা লাভ করা গেছে, তা' উক্ত দূরত্বের প্রায় সমতুল। কল্পনা করা হয় যে 'ডি-এন-এ'-র (DNA) পরিবর্তন ঘটলে জীনের মিউটেশন ঘটে, যদিও মিউটেশন সম্বন্ধে সর্বজনগ্রাহ্য কোন সংজ্ঞা এখনও দেওয়া যায় নি।

জীন-এর আর একটি সংজ্ঞা হচ্ছে, ইহা **শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকলাপের একক-স্বরূপ** (ultimate unit of physiological activity) বা **সিস্ট্রন** (Cistron)। এই সংজ্ঞার দ্বারা জীনকে কার্যসম্বন্ধীয় একটি একক (functional unit) বলে ধারণা করা হয়। গুণের (quality) দিক থেকে বিচার করলে, দুটি ভিন্ন-ভিন্ন এবং প্রভেদনীয় (distinguishable) বৈশিষ্ট্যকে নিয়ন্ত্রণকারী দুটি জীনকে পৃথক্‌ভাবে চিনতে পারা অপেক্ষাকৃত সহজ। কিন্তু মাত্রার (quantity) দিক থেকে বিচার করতে গেলে ব্যাপারটি খুবই অসুবিধাজনক হয়ে দাঁড়ায় (যেমন, খুব ছোট ডানা, তার চেয়ে একটু বড় ডানা, আরও একটু বড় ডানা ইত্যরূপ বৈশিষ্ট্যের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় করা খুবই কষ্টসাধ্য)। তদুপরি, স্যাল্‌মোনেলা এবং অন্যান্য উপাদানের উপর পরীক্ষার দ্বারা দেখা গেছে যে, দুটি পৃথক মিউটেশন অনেকসময় একইপ্রকার ফীনোটিপিক ফল (phenotypic effect) প্রদান করে। অর্থাৎ, অনেকসময়েই একটি ক্রোমোসোমের কার্যসম্বন্ধীয় (functional) একক রিকম্বিনেশন-সম্বন্ধীয় বা মিউটেশন-সম্বন্ধীয় এককের (recombinational or mutational unit) তুলনায় বেশ বড় হয়।

**পন্টিকর্ভো** (Pontecorvo) জীন-এর আর একটি সংজ্ঞা প্রদান করেছেন। সেটি হচ্ছে, জীন **আত্মোৎপাদন-এর চরম একক** (ultimate unit of self-reproduction)। কিন্তু এ-সম্পর্কে তিনি নিজেই স্বীকার করেছেন যে, যে বস্তুটির আত্মোৎপাদন ঘটছে, সেটিকে যতক্ষণ না চিনতে পারা যাচ্ছে ততক্ষণ এই সংজ্ঞা অর্থহীন।

এটা সুস্পষ্টরূপে প্রতিভাত হচ্ছে যে জীন-এর উপরিউক্ত সংজ্ঞাগুলি বিভিন্ন মাত্রায় পরস্পরবিরোধী। জীন-এর অস্তিত্ব সম্পর্কে এরূপ অস্পষ্ট ও পরস্পরবিরোধী ধারণা দ্বারা চালিত হয়ে **গোল্ডস্মিড্‌** (Goldschmidt) প্রস্তাব করেন যে, জীন-এর নির্দিষ্ট কোন আকার নেই। তাঁর মত অনুযায়ী, মিউটেশন ক্রোমোসোমের আণুবীক্ষণিক (microscopic) এবং অনু-

আণুবীক্ষণিক (sub-microscopic) অংশের পুনর্বিন্যাস (rearrangement) মাত্র। এই মতানুযায়ী ক্রোমোসোমের এক-একটি অংশের কার্য-সম্বন্ধীয়, অতএব, 'ফীনোটিপিক পোটেন্‌শ্যাল' (phenotypic potential) আছে।

অধুনা জীন-কে **কোডন** (Codon) রূপে বর্ণনা করবার একটি প্রবণতা দেখা যাচ্ছে। 'কোডন' শব্দের দ্বারা 'ডি-এন-এ'-র (DNA) একদল বেস্‌-কে (base বা ক্ষারক) বোঝানো হয়ে থাকে, যারা একটি নির্দিষ্ট অ্যামিনো অ্যাসিডের (amino acid) সংকেত প্রদান করে। কেউ-কেউ সেইজন্য জীন-কে **অপারেশনাল একক** (operational unit) বা **ওপেরন** (Operon) বলে আখ্যা দিয়েছেন। বর্তমানকাল পর্যন্ত পাওয়া তথ্যাদির ওপর ভিত্তি করে বলা যেতে পারে, **জীন সম্পর্কে আমাদের ধারণা তার আকৃতির পরিবর্তে তার কার্য বা আচরণের সাথে সম্পর্কযুক্ত।**

**রাসায়নিক প্রকৃতি** (Chemical nature)ঃ ১৯৪৪ সাল থেকে শুরু করে সাম্প্রতিককাল পর্যন্ত ব্যাক্‌টিরিয়ার ওপর নানারূপ গবেষণা চালিয়ে 'ডি-এন-এ'-কেই (DNA or Deoxyribonucleic acid) 'জেনেটিক পদার্থ' (genetic substance) বা জীন বলে সনাক্ত করা হয়েছে। যখন এক জাতির (strain) নিউমোকক্কাস১ (Pneumococcus) থেকে ডি-এন-এ নিষ্কাশন করে এবং তাকে অতিরিক্ত-মাত্রায় শোধন (purify) করে, অপর এক জাতির কোষে প্রবেশ করান হয়, তখন গ্রহীতা-জীবটিতে দাতা-জীবটির কতকগুলি বৈশিষ্ট্যের প্রকাশ ঘটতে দেখা যায়। এরূপ রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় সৃষ্ট বৈশিষ্ট্য ক্রমাগত এক জনন থেকে পরবর্তী জননে হস্তান্তরিত হতে দেখা যায়, যা জীনোটাইপ এবং সেইসাথে ফীনোটাইপ-এর পরিবর্তন সূচিত করে। এই পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হচ্ছে যে, 'ডি-এন-এ'-ই (DNA) 'জেনেটিক পদার্থ'।

ব্যাক্‌টিরিওফাজ্‌-এর সাহায্যে ট্রান্স্‌ডাক্‌শন২ (transduction) পরীক্ষার মাধ্যমেও প্রমাণিত হয়েছে যে 'ডি-এন-এ'-ই 'জেনেটিক পদার্থ'। এরূপ পরীক্ষায় কতকগুলি ফাজ্‌-কে কোন এক জাতির ব্যাক্‌টিরিয়ার কোষের ভিতর (যথা, স্ট্রেপ্টোমাইসিন-কে প্রতিরোধ করার শক্তিসম্পন্ন ব্যাক্‌-টিরিয়ার কোষে) বর্ধিত হতে দেওয়া হয়। পরে, ঐ ফাজ্‌গুলিকেই অপর

১ নিউমোনিয়া রোগ সৃষ্টিকারী ব্যাক্‌টিরিয়া।

২ ট্রান্স্‌ডাক্‌শন পরীক্ষায় একটি ভাইরাস, একটি ব্যাক্‌টিরিয়ার কোষ থেকে আর একটি ব্যাক্‌টিরিয়ার কোষে জেনেটিক পদার্থের বহনকারী হিসেবে কাজ করে।

এক জাতির কোষের ভিতর [ যথা, স্ট্রেপ্টোমাইসিন সুগ্রাহী (sensitive to streptomycin) কোষের ভিতর ] স্থানান্তরিত করা হয়। এতে দেখা যায় যে, শেষোক্ত জাতির ব্যাক্‌টিরিয়া প্রথমোক্ত জাতির বৈশিষ্ট্যটি গ্রহণ করেছে, অর্থাৎ, তার ভিতর স্ট্রেপ্টোমাইসিন-কে প্রতিরোধ করার শক্তি আবির্ভূত হয়েছে। এভাবে লাভ করা নতুন বৈশিষ্ট্যটি গ্রহীতা-কোষে চিরস্থায়ী হতে দেখা যায় এবং গ্রহীতা-কোষটিই তখন· দাতা-কোষ হিসাবে কাজ করতে সমর্থ হয়। গ্রহীতা-কোষটির এই সামর্থ্যের দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, ঐ কোষে জেনেটিক পরিবর্তন সাধিত হয়েছে। দাতা-কোষের ভিতর বংশ-বিস্তারের সময় ফাজ্‌টি ঐ কোষের 'ডি-এন-এ'-র কিছুটা অংশ নিজদেহে গ্রহণ করে। অতঃপর ফাজ্‌টি উক্ত ডি-এন-এ নতুন হোস্ট্‌-টিতে (host বা পোষক) স্থানান্তরিত করে, যার ফলে দাতা-কোষের ডি-এন-এ গ্রহীতা-কোষের 'ডি-এন-এ'-র সাথে মিশে যায়।

তেজস্ক্রিয় ট্রেসার (radioactive tracer) ব্যবহার করে **এ. হার্সে** ও **এম. চেজ্‌** (A. Hershey and M. Chase) ভাইরাস-এর জীবন-চক্র চলাকালীন তার বিভিন্ন অংশ সম্পর্কে অনুসন্ধান চালান। তাঁরা ভাইরাস-এর ডি-এন-এ (DNA) অংশটিকে তেজস্ক্রিয় ফস্‌ফরাস (P৩২) দ্বারা এবং প্রোটীন অংশটিকে তেজস্ক্রিয় সাল্‌ফার (S৩৫) দ্বারা চিহ্নিত করেন। এই পরীক্ষা থেকে দেখা যায় যে, কোন ভাইরাস হোস্ট্‌-কোষে প্রবেশ করার সময় তার প্রোটীন অংশটিকে বাইরে ত্যাগ করে যায়। হোস্ট্‌-কোষের ভিতর ভাইরাসটির যখন বংশোৎপাদন ক্রিয়া ঘটতে থাকে, তখন তার দেহটি কেবলই ডি-এন-এ দ্বারা তৈরী থাকে। পরে প্রতিটি ডি-এন-এ কণাকে ঘিরে প্রোটীন অংশের সৃষ্টি হয়। নতুন ভাইরাসগুলি পরিণতি লাভ করলে হোস্ট্‌ ব্যাক্‌টিরিয়ার কোষটি ফেটে যায় এবং সংক্রমণের (infection) ক্ষমতা-সম্পন্ন (যেটি একটি জীনোটিপিক বৈশিষ্ট্য) অসংখ্য ভাইরাস বার হয়ে আসে, যারা পুনরায় নতুন কোষকে আক্রমণ করতে উদ্যত হয়। এই পরীক্ষার দ্বারা পুনরায় প্রমাণিত হয় যে, 'ডি-এন-এ'-ই 'হেরিডিট্যারি পদার্থ' (hereditary material)।

উচ্চশ্রেণীর জীবে ডি-এন-এ ক্রোমোসোমের একটি স্থায়ী অংশ। সকল ক্রোমোসোমেই এর অস্তিত্ব আছে। জীনের আবশ্যকীয় ধর্মগুলিও (properties) 'ডি-এন-এ'-র মধ্যে দেখতে পাওয়া যায়। জীনের মূল ধর্ম যেটি, অর্থাৎ **আত্মোৎপাদন** (duplication), সেটি 'ডি-এন-এ'-র মধ্যেও বর্তমান। যে অংশটি এক কোষের বার্তা অপর কোষে বহন করে নিয়ে যাবে, তার রাসায়নিক গঠনটি **অপেক্ষাকৃত অপরিবর্তনশীল** (relatively stable)

হওয়া প্রয়োজন। এই গুণটিও 'ডি-এন-এ'-র ভিতর পরিলক্ষিত হয়। তদুপরি, হ্যাপ্লয়েড শুক্রাণু (sperm) ও ডিম্বাণুতে (ovum) 'ডি-এন-এ'-র পরিমাণ ডিপ্লয়েড সোমাটিক কোষের ঠিক অর্ধেক হয়ে থাকে। অধিকন্তু, একই জীবের মধ্যে অনিয়মিত কোষ-বিভাজনের দ্বারা যে টেট্রা-প্লয়েড (৪$n$) এবং অক্টোপ্লয়েড (৮$n$) কোষের উদ্ভব হয়, তাদের ভিতর 'ডি-এন-এ'-র পরিমাণ ডিপ্লয়েড (২$n$) কোষের তুলনায় যথাক্রমে দ্বিগুণ ও চতুর্গুণ হতে দেখা যায়। ক্রোমোসোমের পরিমাণ এবং 'ডি-এন-এ'-র পরিমাণের মধ্যে উপরিউক্ত সাদৃশ্য এবং ব্যাক্‌টিরিয়া ও ভাইরাস এর ডি-এন-এ সম্পর্কে পূর্বোক্ত আলোচনা দ্বারা জীনের সঙ্গে 'ডি-এন-এ'-র নিগূঢ় সম্পর্ক সপ্রমাণিত হয়েছে।

'ডি-এন-এ'-র গঠন সম্পর্কে প্রথম খণ্ডের ত্রয়োদশ অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে বলে এখানে তার পুনরুল্লেখ করা হ'ল না।

# ৭ ॥ মিউটেশন

## (Mutation)

**মিউটেশন-এর সংজ্ঞা ঃ** 'মিউটেশন' শব্দটির দ্বারা **জার্ম-প্লাজ্‌মের মধ্যে অপেক্ষাকৃত স্থায়ী** (relatively permanent) **প্রকৃতির হঠাৎ কোন পরিবর্তনকে** বোঝানো হয়ে থাকে। এই পরিবর্তন রিকম্বিনেশন-এর দ্বারা সৃষ্ট পরিবর্তন থেকে সম্পূর্ণ ভিন্ন ধরণের। তবে, সচরাচর এই শব্দটির দ্বারা জীন-মধ্যস্থ কোন পরিবর্তনকেই ব্যক্ত করা হয়।

**মিউটেশন-এর আকার** (size) ঃ মিউটেশনের ফলে কখনও-কখনও খুব উল্লেখযোগ্য ধরণের পরিবর্তন ঘটে থাকে, যথা, ড্রসোফিলায় লাল চোখ থেকে সাদা চোখের উৎপত্তি, দেহের ধূসর (gray) রঙের জায়গায় কালো রঙের আবির্ভাব, অথবা ডানাগুলির সম্পূর্ণ অনুপস্থিতি ইত্যাদি। কিন্তু কখনও-কখনও এই পরিবর্তনগুলি এত অল্পমাত্রায় ঘটে থাকে যে সেগুলি সহজে ধরা পড়ে না। দৃষ্টান্তস্বরূপ, চোখগুলি স্বাভাবিক লাল রঙের চেয়ে সামান্য ফিকে (light) ধরণের, দেহটি স্বাভাবিক ধূসর বর্ণের স্থলে সামান্য গাঢ় ধরণের অথবা ডানাগুলি স্বাভাবিকের চেয়ে নামমাত্র ছোট হতে পারে। এটা দেখা গেছে যে, বড় মিউটেশনগুলির তুলনায় ছোট মিউটেশনের পরিমাণ বহুগুণ বেশী হয়ে থাকে।

**মিউটেশন-এর শ্রেণীবিভাগ ঃ** মিউটেশনগুলিকে নিম্নরূপে শ্রেণীবদ্ধ করা যেতে পারে ঃ—

**এক ॥** জীন-এর ভিতর পরিবর্তন বা 'পয়েন্ট মিউটেশন' (point mutation)।

**দুই ॥** ক্রোমোসোমের সংখ্যার পরিবর্তন,

(ক) ক্রোমোসোম-প্রস্থের (chromosome set) সংখ্যার বৃদ্ধি অথবা হ্রাস (পলিপ্লয়ডি অথবা হ্যাপ্লয়ডি) হেতু,

(খ) ডিপ্লয়েড সংখ্যার সাথে এক প্রস্থের (set) চেয়েও কম ক্রোমোসোম-সংখ্যার যোগ বা বিয়োগ হেতু, পলিসমি (Polysomy), মনোসমি (Monosomy) এবং নালোসমি (Nullosomy)।

**তিন ॥** ক্রোমোসোম-খণ্ডের বিন্যাসের (arrangment) পরিবর্তন,

(ক) ক্রোমোসোম-মধ্যস্থ কোন অংশের পুনর্বিন্যাস (rearrangement) হেতু (ইন্‌ভারশন),

(খ) দু'টি নন্‌-হমলগাস (non-homologous বা অসম-সংস্থ) ক্রোমোসোমের ভিতর কোন অংশের বিনিময় হেতু (ট্রান্স্‌লোকেশন),

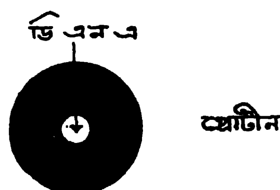
(গ) ক্রোমোসোমের কোন অংশের অপচয় (loss) অথবা কোন নতুন অংশ প্রাপ্তি (addition) হেতু (ডেলিশন এবং ডুপ্লিকেশন)।

সচরাচর 'মিউটেশন' বলতে আমরা 'জীন মিউটেশন' বা 'পয়েন্ট্‌ মিউটেশন'-কেই বুঝিয়ে থাকি। উৎপত্তির সাথে-সাথেই সমস্ত মিউটেশনকে সনাক্ত করা যায় না, কেননা অধিকাংশ মিউটেশন-ই রিসেসিভ্‌ বা প্রচ্ছন্ন ধরণের। এইসকল মিউটেশনের প্রকাশ ঘটতে গেলে তাদের হোমোজাইগাস (homozygous) অবস্থায় আসা প্রয়োজন।

**স্বেচ্ছাপ্রণোদিত মিউটেশনের হার** (Rate of spontaneous mutations): ড্রসোফিলায় মিউটেশনের সামর্থ্য সম্পর্কে **এম. ডেমেরেক** (M. Demereck) পুঙ্খানুপুঙ্খরূপে পর্যালোচনা করেছেন। তাঁর অনুসন্ধানের দ্বারা জানা যায় যে, মিউটেশনের ব্যাপারে প্রতিটি জীন-এর নিজস্ব বৈশিষ্ট্য আছে। কতকগুলি জীন-এর প্রায়ই মিউটেশন ঘটে, আবার অন্য কতকগুলি জীন-এর মিউটেশনের ঘটনা খুবই বিরল। দৃষ্টান্তস্বরূপ, 'সাদাচক্ষু মিউটেশন' প্রায়ই ঘটতে দেখা যায়, অপরপক্ষে কতকগুলি মিউটেশন এখনও পর্যন্ত মাত্র একবারই ঘটার কথা শোনা গেছে। এই সূত্রে উল্লেখ করা যেতে পারে যে, ড্রসোফিলার কোন একটি নির্দিষ্ট লোকাসে স্বেচ্ছাপ্রণোদিত মিউটেশনের গড় হার (average rate) এক লক্ষে একটি। অর্থাৎ, এক লক্ষের মধ্যে ৯৯,৯৯৯টি ক্ষেত্রে আলোচ্য জীনটির আচরণ স্বাভাবিক হয়ে থাকে।

দেশের কোন এলাকার একটি বিশেষ স্পিসিসে (species বা প্রজাতি) মিউটেশনের সার্বিক হার অনেকসময় অন্য এলাকার ঐ একই স্পিসিসে মিউটেশনের হারের দশ গুণ পর্যন্ত হতে দেখা গেছে। যেমন, আমেরিকার ফ্লোরিডা এলাকায় 'ড্রসোফিলা মেলানোগ্যাস্টার'-এ মিউটেশনের হার ক্যাণ্টন্‌ এলাকার উক্ত স্পিসিসে মিউটেশনের হারের অনেক বেশী।

**ম্যাক্‌ ক্লিন্‌টক** (Mc Clintock) লক্ষ্য করেছেন, ভূট্টায় (maize) কোন-কোন জীন বা ক্রোমোসোমখণ্ড অন্য জীনের স্থায়িত্বের (stability) পরিবর্তন ঘটাতে পারে। ফলে, শেষোক্ত জীনগুলির মিউটেশন ঘটে। যে জীনগুলি



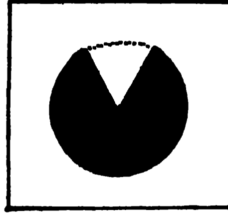

৩০ নং চিত্রঃ—একটি ভাইরাসের প্রস্থচ্ছেদ [ নক্সাকার ]।

অন্য জীনকে প্রভাবিত ক'রে তাদের মিউটেশন ঘটায় সেগুলিকে **মিউটেটর জীন** (mutator gene) এবং যে জীনগুলির মিউটেশন ঘটে সেগুলিকে **মিউটেব্‌ল্‌ জীন** (mutable gene) বলা হয়।

**সোমাটিক এবং জার্মিনাল মিউটেশনঃ** মিউটেশন 'যেকোন কোষে' ঘটতে পারে এবং কোষ-চক্রের 'যেকোন দশায়' এর আবির্ভাব হতে পারে। মিউটেশনের তাৎক্ষণিক ফল (immediate effect) এবং ফীনোটিপিক পরিবর্তন আনয়নে তার সামর্থ্য, কয়েকটি বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল। ঐ বিষয়গুলি হচ্ছে মিউটেশনটির ডমিনান্স (dominance বা প্রকটতা), কি প্রকারের কোষে মিউটেশনটি সৃষ্টি হয়েছে এবং কোষ-চক্রের কোন দশায় তার আবির্ভাব ঘটেছে। কোন সোমাটিক কোষে যদি মিউটেশনের সৃষ্টি হয় তাহলে তাকে **সোমাটিক মিউটেশন** এবং জার্মিনাল কোষে তার আবির্ভাব ঘটলে তাকে **জার্মিনাল মিউটেশন** বলা হয়।

যে কোষে মিউটেশনের প্রথম উদ্ভব হয়, সেই কোষ থেকে আরও যে-সকল কোষের সৃষ্টি হয় তাদের মধ্যে মিউটেশনটি বাহিত হয়। সোমাটিক মিউটেশন কখনই পরবর্তী জননে হস্তান্তরিত হয় না, কেবলমাত্র জার্মিনাল মিউটেশনগুলিই পরবর্তী জননে হস্তান্তরিত হতে পারে। কোন জীবে সোমাটিক মিউটেশনের ফলে দেহের একটি অংশে মিউটেশনযুক্ত টিসু (tissue showing mutation) এবং অন্যান্য অংশে উক্ত মিউটেশনবিহীন টিসু (tissue without the said mutation) দেখতে পাওয়া যায়। বন্য (wild) আপেল ও কমলালেবু থেকে এইভাবেই সুস্বাদু আপেল ও কমলালেবুর উৎপত্তি হয়েছে। সোমাটিক মিউটেশনগুলি ডমিনান্ট অথবা সেক্স্‌-লিংক্‌ড্‌ রিসেসিভ্‌ ধরণের হ'লে তবেই জীবদেহে তাদের প্রকাশ ঘটবে। কিন্তু ঐগুলি যদি অটোসোমস্থ রিসেসিভ্‌ (autosomal recessive) জীন হয় তাহলে কখনই তাদের প্রকাশ ঘটবে না এবং তাদের আবির্ভাবের কথাও জানা যাবে না।

পুরুষ ড্রসোফিলায় কখনও-কখনও লাল চোখের মাঝে সাদা বৃত্তকলার (white sector) আবির্ভাব ঘটতে দেখা যায় (৩১ নং চিত্র)। এটি একটি



৩১ নং চিত্র ঃ—ড্রসোফিলার লাল চোখের মাঝে সাদা বৃত্তকলা।

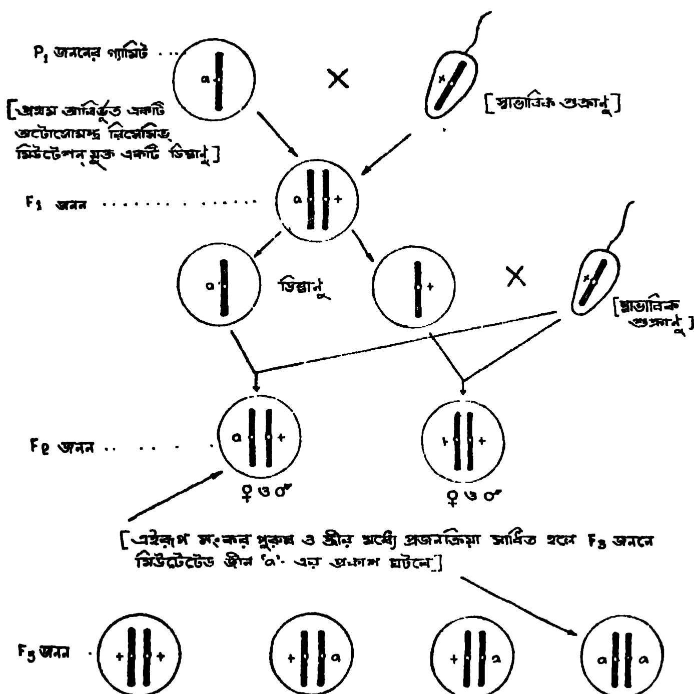
সোমাটিক মিউটেশনের ঘটনা। ঐ সাদা বৃত্তকলাটি একটিমাত্র কোষের বংশধরদের নিয়ে গঠিত, যে কোষটির এক্স্-ক্রোমোসোমের 'সাদা লোকাস্'-এ মিউটেশন ঘটেছিল। ঐ মিউটেশনটি যদি একটি জার্ম-কোষে ঘটত তাহলে সম্পূর্ণ চোখটি সাদা হত। কিন্তু যেহেতু মিউটেশনটি সোমাটিক কোষে আবির্ভূত হয়েছে, সেই কারণে কেবলমাত্র নির্দিষ্ট কোষ-টির বংশধরদের ভেতর তার প্রকাশ ঘটেছে।

জার্ম-কোষে কোন ডমিনান্ট মিউটেশনের আবির্ভাব ঘটলে তার ফল অব্যবহিত পরবর্তী জননের সন্তান-সন্ততির ভেতর প্রকাশিত হতে পারে। কিন্তু মিউটেশনটি রিসেসিভ্ অথবা হাইপোস্ট্যাটিক[১] (hypostatic) হলে, তার ফল অন্যান্য জীনের ক্রিয়ায় ঢাকা পড়ে যায়। সমস্ত প্রাণী ও উদ্ভিদেই জার্মিনাল মিউটেশন ঘটে থাকে। সোমাটিক মিউটেশনের মত জার্মিনাল মিউ-টেশন কোষ-চক্রের যেকোন দশায় (stage) আবির্ভূত হতে পারে; তথাপি কতকগুলি বিশেষ সময়ে, যেমন জীন-এর আত্মোৎপাদনক্রিয়া (self duplication) চলার সময়ে, তাদের আবির্ভাবের ঘটনাটি সচরাচর দৃষ্ট হয়। কোন প্রাণী বা উদ্ভিদের একটিমাত্র গ্যামিট-এ (gamete) মিউটেশনটির উৎপত্তি হ'লে, সন্তান-সন্ততির মধ্যে মাত্র একটি সন্তান মিউটান্ট জীনটিকে (mutant gene) লাভ করতে পারে। কিন্তু, গ্যামিটসৃষ্টি প্রক্রিয়ার

১ যখন কোন জীন-এর ক্রিয়া অন্য এক বা একাধিক নন্-অ্যালীলোমর্ফিক (অন্য লোকাস্-এ অবস্থিত) জীন-এর দ্বারা দমিত (suppressed) হয়, তখন যে জীনটির ক্রিয়া দমিত হয়, তাকে 'হাইপোস্ট্যাটিক জীন' এবং যে জীনগুলি ঐ ক্রিয়াকে দমিত করে তাদের 'এপিস্ট্যাটিক জীন' (epistatic gene) বলে।

(gametogenesis) শুরুর দিকে মিউটেশনটি ঘটলে কতকগুলি গ্যামিট মিউটান্ট জীনটিকে লাভ করতে পারে।

আগেই বলা হয়েছে যে, জার্মিনাল-কোষে কোন ডমিনান্ট অথবা সেক্স্-লিংকড্ মিউটেশনের আবির্ভাব ঘটলে তা' অব্যবহিত পরবর্তী জননের সন্তান-সন্ততিতেই প্রকাশিত হতে পারে। অপরপক্ষে, মিউটেশনটি অটোসোমস্থ রিসেসিভ্ (autosomal recessive) জীন হ'লে এবং তা' একটিমাত্র শুক্রাণু বা ডিম্বাণুতে আবির্ভূত হ'লে $F_3$ জননের আগে তার প্রকাশ ঘটা কোনক্রমেই সম্ভব হবে না (৩২ নং চিত্র)।




৩২ নং চিত্রঃ—অটোসোমস্থ রিসেসিভ মিউটেশনের প্রথম প্রকাশলাভের চিত্র-সংকেত।

**রিভার্স মিউটেশন** (Reverse mutation)ঃ কখনও-কখনও মিউটান্ট জীনটিকে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে যেতে দেখা যায়—এই ঘটনাকে 'রিভার্স মিউটেশন' বলা হয়। ড্রসোফিলায় এক্স্-রশ্মির (X-ray) প্রভাবে

'ফর্কড্ ব্রিস্ল্' (forked bristles) এবং 'ইয়োসিন চক্ষু' (eosine eye) জীনগুলি কখনও-কখনও স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে যায়। বিভিন্ন মিউ-টাণ্ট্-এ রিভার্স মিউটেশনের হার (rate) বিভিন্ন প্রকারের হয়ে থাকে। কতকগুলি অস্থায়ী ধরণের মিউটেশনের [যথা, অ্যাল্ফা মিনিয়েচার১ (alpha miniature)], স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে যাবার হার খুব বেশী। তবে সচরাচর একটি মিউটেটেড জীনকে কদাচিৎ স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে যেতে দেখা যায়।

ড্রসোফিলার কতকগুলি মিউটেশনের কারণ হচ্ছে, 'পজিশন্ এফেক্ট্' (position effect)। ক্রোমোসোমের কোন একটি খণ্ড তার স্থান পরিবর্তন করার ফলে কোন একটি জীন-এর অব্যবহিত পাশেই হেটেরোক্রোমাটিনের আবির্ভাব ঘটতে পারে। এই অবস্থায় হেটেরোক্রোমাটিনটি উক্ত জীনটির ক্রিয়াকে দমিত করে একটি ফীনোটিপিক পরিবর্তন সৃষ্টি করতে পারে। একেই 'পজিশন্ এফেক্ট্' বলা হয়।

অন্তত কয়েকটি ক্ষেত্রে, স্বাভাবিক জীনগুলি অপরিচিত (foreign) হেটেরোক্রোমাটিনের প্রভাব-মুক্ত হওয়ার ফলে, 'রিভার্স মিউটেশন' ঘটে থাকে।

**কৃত্রিম উপায়ে মিউটেশনের সৃষ্টি** (Artificial production of mutation)ঃ বিভিন্ন ঘটকের (agents) সাহায্যে কৃত্রিম উপায়ে মিউ-টেশন সৃষ্টি করা যায়। ঐ-সকল ঘটককে 'মিউটাজেনিক এজেণ্ট্স্' (mutagenic agents বা মিউটেশন-সৃষ্টিকারী ঘটক) বলা হয়। মিউ-টাজেনিক এজেণ্টদের একটি তালিকা নীচে দেওয়া হ'ল।

**(ক) এক্স্ রশ্মি** (X-rays)ঃ ১৯২৭ সালে **এইচ. জে. মুলার** (H. J. Muller) প্রমাণ করেন যে, এক্স্-রশ্মির সাহায্যে কৃত্রিম উপায়ে মিউটেশন সৃষ্টি করা যেতে পারে। মুলার ড্রসোফিলার ওপর এক্স্-রশ্মিসম্পাত ঘটিয়ে তাদের ভেতর নানাপ্রকার মিউটেশন (যথা, সাদা চক্ষু, ফর্কড্ ব্রিস্ল্, কৃষ্ণবর্ণ দেহ, ভেস্টিজিয়াল উইংস্ বা ক্ষুদ্রকায় ডানা ইত্যাদি) সৃষ্টি করতে সমর্থ হন। পরবর্তী গবেষকগণ প্রমাণ করেন যে, এক্স্-রশ্মি

১ মিউটেশনের ফলে ড্রসোফিলার ডানাগুলি কখনও-কখনও আকারে খুব ছোট হয়। মিউটেটেড জীনটি এক্ষেত্রে 'মিনিয়েচার জীন' রূপে পরিচিত। বিভিন্ন ড্রসোফিলায় মিনিয়েচার জীনটিকে কয়েকটি ভিন্ন-ভিন্ন লোকাসে অবস্থিত থাকতে দেখা গেছে। ঐ লোকাস্গুলির অ্যাল্ফা, বীটা ইত্যাদি নামকরণ করা হয়েছে।

ভুট্টা, বার্লি, তুলো, নেংটি ইঁদুর (mice) এবং আরও নানাপ্রকারের জীবে মিউটেশন ঘটাতে পারে।

মিউটেশনের হার এক্স্-রশ্মির মাত্রার (dose) ওপর নির্ভরশীল। মুলার এ-ব্যাপারে তাঁর প্রথম পরীক্ষায় লক্ষ্য করেন, এক্স্-রশ্মির মাত্রার যত বৃদ্ধি ঘটছে মিউটেশনের পরিমাণ ততই বেশী হচ্ছে। তিনি এক্স্-রশ্মির যে সর্বনিম্ন মাত্রা ব্যবহার করেন তা' ছিল ৩½ মিনিট স্থিতিকালসম্পন্ন একটি নির্দিষ্ট তীব্রতাবিশিষ্ট[১] (intensity) এক্স্-রশ্মি (৪ নং তালিকায় $ক_১$ প্রতীক দ্বারা তাকে প্রকাশ করা হয়েছে)। $ক_২$ ছিল $ক_১$-এর ঠিক দ্বিগুণ (অর্থাৎ ৭ মিনিট) এবং ঐ একই নিয়ম অনুসারে প্রতিটি মাত্রা তার অব্যবহিত আগের মাত্রার ঠিক দ্বিগুণ ছিল। নিয়ন্ত্রিত (controlled) শ্রেণীটিকে, অর্থাৎ যে পতঙ্গগুলির ওপর এক্স্-রশ্মি সম্পাত ঘটানো হয়নি,

৪ নং তালিকা

**এক্স্-রশ্মির দ্বারা সৃষ্ট লেথাল মিউটেশনের এক্স্-রশ্মির মাত্রার সাথে প্রত্যক্ষ অনুপাতের হার**

| মাত্রা | $F_2$ জননের মোট সন্তান-সন্ততি সংখ্যা | মিউটেশন-যুক্ত পতঙ্গের সংখ্যা | মিউটেশনের শতকরা হার | এক্স-রশ্মির দ্বারা সৃষ্ট মিউটেশনের শতকরা হার |
|---|---|---|---|---|
| $ক_১$ | ৪,০১৬ | ৫৭ | ১·৪২ | ১·১৮ ± ০·১৩৫ |
| $ক_২$ | ২,২৩১ | ৭২ | ৩·২৩ | ২·৯৯ ± ০·২৫৬ |
| $ক_৪$ | ১,১৪৪ | ৫৫ | ৪·৯০ | ৪·৫৬ ± ০·৫২৮ |
| $ক_৮$ | ৬১৮ | ৬১ | ৯·৮৭ | ৯·৬৩ ± ০·৭৪ |
| $ক_{১৬}$ | ৪৩৪ | ৭০ | ১৬·০৯ | ১৫·৮৫ ± ১·১৯ |
| খ | ৪,১৩৩ | ১০ | ০·২৪ | O |

১ 'রোয়েণ্ট্জেন ইউনিট (Roentgen units) দ্বারা এই তীব্রতার পরিমাপ করা হয়। কোন একটি বস্তুর ভিতর দিয়ে এক্স্-রশ্মি প্রবাহিত হওয়ার ফলে যে 'আয়োনাইজেশন' (ionization) সৃষ্টি হয় তার সংখ্যার উপর ভিত্তি করে রোয়েণ্ট্জেন ইউনিট নির্ধারিত হয়।

তাদের খ প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে। যে পতঙ্গটির ওপর ক মাত্রা প্রয়োগ করা হয়েছিল সেটি থেকে উৎপাদিত $F_2$ জননের ৪০৬টি পতঙ্গের মধ্যে ৫৭টিতে মিউটেশন ছিল অর্থাৎ, মিউটেশনের শতকরা হার ছিল ১·৪২। এই শতকরা হার প্রধানত এক্স্-রশ্মির দ্বারা উৎপাদিত মিউটেশনকেই সূচিত করছে, কিন্তু এর সামান্য কিছু অংশ এক্স্-রশ্মি-সম্পাত না ঘটালেও সৃষ্টি হত এবং ঐ অংশটি নিয়ন্ত্রিত (controlled) শ্রেণীর (অর্থাৎ খ শ্রেণীর) পতঙ্গগুলিতে সৃষ্ট মিউটেশনের শতকরা ০·২৪-এর সমান বলে ধরা হয়ে থাকে। সুতরাং ক১ মাত্রার এক্স্-রশ্মি দ্বারা উৎপাদিত মিউটেশনের শতকরা হার দাঁড়িয়েছিল ১·৪২—০·২৪ বা ১·১৮ [ ± ০·১৩৫ হচ্ছে 'প্রমাণিত ভ্রম' (standard error)]। ঐ তালিকা থেকে দেখা যাচ্ছে, ক২ মাত্রা দ্বারা সৃষ্ট মিউটেশনের শতকরা হার ২·৯৯ অর্থাৎ ১·১৮-এর দ্বিগুণের সামান্য বেশী; ক৪ মাত্রায় এই হার ৪·৫৬ অর্থাৎ ১·১৮-এর প্রায় চতুর্গুণ এবং অন্যান্য মাত্রার ক্ষেত্রে এবম্বিধ হারই লক্ষিত হচ্ছে। অতএব দেখা যাচ্ছে, এক্স্-রশ্মির মাত্রা দ্বিগুণিত হওয়ার সাথে-সাথে মিউটেশনের পরিমাণও দ্বিগুণিত হচ্ছে। উপরি-উক্ত পরীক্ষা থেকে মুলার এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, এক্স্-রশ্মির দ্বারা উৎপাদিত মিউটেশনের হার এক্স্-রশ্মির মাত্রার সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে সমানুপাতিক (directly proportional)।

মৃদু তীব্রতাবিশিষ্ট (of weak intensity) এক্স্-রশ্মির দ্বারা মিউটেশন উৎপাদিত হতে পারে। মাত্রা (dosage) অর্থাৎ রোয়েন্ট্জেন ইউনিটের পরিমাণ সমান থাকলে, মৃদু তীব্রতাবিশিষ্ট এক্স্-রশ্মি অধিক-কাল প্রয়োগের ফলে উৎপাদিত মিউটেশনের পরিমাণ জোরাল এক্স্-রশ্মি স্বল্পকাল প্রয়োগের ফলে উৎপাদিত মিউটেশনের সমান হবে।

সঠিকভাবে বলতে গেলে, এক্স্-রশ্মি দ্বারা উৎপাদিত মিউটেশনগুলি ক্রোমোসোমখণ্ডের পুনর্বিন্যাসের (chromosomal rearrangements) দ্বারা সৃষ্টি হয়ে থাকে—সেগুলি পয়েণ্ট্ মিউটেশন (point mutation) নয়। স্ট্যাডলার (Stadler) এবং তাঁর সহকর্মীরা প্রমাণ করেছেন যে, এক্স্-রশ্মির দ্বারা প্রবর্তিত মিউটেশনগুলি চরম (extreme) প্রকৃতির। তাঁদের মতে এইপ্রকারের মিউটেশনগুলির মূলে জীন-এর পরিবর্তন নয়, **জীন-এর বিনাশই** (gene destruction) তাদের মূল কারণ। [এই বিনাশ ক্রোমোসোমের অতি ক্ষুদ্র একটি খণ্ডের, এমনকি একটিমাত্র জীন-এর অপসারণের (deficiency) ফল]।

**(খ) আলট্র্যাভাওলেট রশ্মি** (Ultraviolet rays)ঃ

এক্স্-রশ্মির মিউটেশন ঘটাবার সামর্থ্য আবিষ্কারের অল্পকাল পরেই **অল্টেনবার্গ** (Altenburg) প্রমাণ করেন যে, আলট্র্যাভাইওলেট রশ্মিও ড্রসোফিলায় মিউটেশন ঘটাতে পারে। তিনি ড্রসোফিলার পূর্ণাঙ্গ পতঙ্গের পরিবর্তে তাদের ডিমের ওপর উক্ত রশ্মিপাত ঘটান। এক্স্-রশ্মির তুলনায় আলট্র্যাভাইওলেট রশ্মির ভিতরে প্রবেশ করার ক্ষমতা এত কম যে, পূর্ণাঙ্গ পতঙ্গের ত্বকেই (integument) রশ্মির অধিক অংশ শোষিত হয়ে যায় এবং তা' গোনাড্-এ (gonad) পৌঁছোতে পারে না। এই কারণেই অল্টেনবার্গ পূর্ণাঙ্গ পতঙ্গের পরিবর্তে তাদের ডিমের ওপর আলট্র্যাভাওলেট রশ্মিপাত ঘটিয়েছিলেন। আলট্র্যাভাইওলেট রশ্মির ভিতরে প্রবেশ করার ক্ষমতা খুব কম হওয়ার জন্য এই রশ্মি সম্পর্কে পরীক্ষা নির্বাহের ক্ষেত্রে ড্রসোফিলা একটি যথোপযুক্ত উপাদান নয়। পক্ষান্তরে, উদ্ভিদের পরাগরেণুগুলি (pollen grains) আলট্র্যাভাইওলেট রশ্মি সম্পর্কে পরীক্ষা পরিচালনার উদ্দেশ্যে খুবই উপযোগী উপাদান; কেননা, এই রেণুগুলিকে একটি কাঁচের স্লাইড্-এর (slide) ওপর অথবা অন্য কোন পাত্রে একটিমাত্র স্তরে (layer) সাজিয়ে তাদের ওপর সোজাসুজি আলট্র্যাভাইওলেট রশ্মিসম্পাত ঘটানো যেতে পারে।

আলট্র্যাভাইওলেট রশ্মির দ্বারা সৃষ্ট মিউটেশনগুলির সম্ভবত অধিকাংশই জীন-এর পরিবর্তনের দ্বারা ঘটে থাকে এবং এর দ্বারা জীন-এর বিনাশ খুবই কম হয়। সুতরাং এ-ব্যাপারে এক্স্-রশ্মির সঙ্গে এর বেশ পার্থক্য আছে। **স্ট্যাড্লার** দেখিয়েছেন, অন্তত ভূট্টার ক্ষেত্রে আলট্র্যাভাইওলেট রশ্মি-প্রবর্তিত মিউটেশনগুলি স্বেচ্ছাপ্রণোদিত (spontaneous) মিউটেশনের অনুরূপ, অর্থাৎ সেগুলি 'পয়েণ্ট মিউটেশন'।

**গামা রশ্মি**১ (Gamma rays) এবং সম্ভবত **কস্মিক রশ্মি**-ও (Cosmic rays বা নভোরশ্মি) মিউটেশন সৃষ্টি করতে পারে। গামা রশ্মি দ্বারা

১ রেডিয়াম তিন প্রকার তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরণ করে—আল্ফা কণা (alpha rays), বীটা (beta ray) এবং গামা রশ্মি (gamma ray)। আল্ফা এবং বীটা বিকিরণ রূপার একটি সূক্ষ্ম আস্তরণে আঁটকে যায়, কিন্তু গামা রশ্মিকে ঐভাবে প্রতিরোধ করা যায় না। অতএব রেডিয়াম-কে একটি রূপার পাত্রে রাখলে তা' থেকে কেবলমাত্র গামা রশ্মি বিচ্ছুরিত হয়। গামা রশ্মি প্রায় এক্স্-রশ্মির মতই, কেবল তার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (wave length) এক্স্-রশ্মির চেয়ে কম। এক্স্-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ১—১০ অ্যাংস্ট্রম্ হয়ে থাকে।

উৎপাদিত মিউটেশনের হার এক্স্-রশ্মির প্রতি একক মাত্রায় (unit dose) উৎপাদিত মিউটেশনের হারের সমতুল।

**(গ) মিউটেশন সৃষ্টিকারী রাসায়নিক এজেণ্ট্সমূহ** (Chemical mutagens) **:**

দৃশ্যমান আলোকের (visible light) মিউটেশন সৃষ্টি করবার ক্ষমতা নেই। কিন্তু **ডোরিং** (Doring) **স্টাবি** (Stubee) এবং **কাপলান** (Kaplan) লক্ষ্য করেছেন যে, নিউরোস্পোরা (*Neurospora*) নামক ছত্রাকে এবং অ্যাণ্টিরিহ্নাম (*Antirrhinum*) নামক উদ্ভিদের পরাগরেণুতে **ফ্লুয়োরেসেণ্ট** (fluorescent বা প্রতিপ্রভ) **বস্তুসমূহকে** (যথা, ইয়োসিন, এরিথ্রোসিন, ফ্লুয়োরোসিন ইত্যাদি) অনুপ্রবিষ্ট করানোর পর দৃশ্যমান আলোকসম্পাত ঘটালে তাদের মিউটেশনের হার বৃদ্ধি পায়।

**স্টোন** (Stone), **উইস্** (Wyss) এবং **হাস্** (Hass) জানিয়েছেন যে, শুধুমাত্র ব্যাক্টিরিয়ার দেহে নয়. তার 'পোষক মাধ্যম'-এও (nutrient medium), আলট্র্যাভাইওলেট রশ্মি বা অতিবেগুনি রশ্মিসম্পাত ঘটলে মিউটেশনের উদ্ভব হয়। পরে জানা গেছে, ঐরূপ কৌতূহলোদ্দীপক ফলাফলের কারণ হচ্ছে, আলট্রাভাইওলেট রশ্মির প্রভাবে ব্যাক্টিরিয়াগুলির পোষক মাধ্যমে কয়েকটি **অর্গ্যানিক পারক্সাইড** (organic peroxide) উৎপাদিত হয় এবং সেগুলিই মিউটেশন ঘটিয়ে থাকে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে মিউটেশনের কারণ হচ্ছে কয়েকটি রাসায়নিক পদার্থ। **ডিকি** (Dickev), **ক্লেল্যাণ্ড** (Cleland) এবং **লজ্** (Lotz) লক্ষ্য করেছেন, নিউরোস্পোরার পোষক মাধ্যমে কোনপ্রকার বিকিরণ না ঘটিয়ে, কেবলমাত্র কয়েকটি 'অর্গ্যানিক পারক্সাইড' প্রদান করেই উক্ত ছত্রাকগুলিতে মিউটেশন সৃষ্টি করা হায়।

সাম্প্রতিককাল পর্যন্ত আবিষ্কৃত মিউটেশন-সৃষ্টিকারী রাসায়নিক এজেণ্ট্-গুলির মধ্যে সর্বাপেক্ষা শক্তিশালী হচ্ছে. **মাস্টার্ড গ্যাস** (mustard gas)। এই আবিষ্কারের কৃতিত্ব **রবসন্** এবং **অউরব্যাক্**-এর (Robson and Auerback)। ড্রসোফিলায়, এই গ্যাসটির দ্বারা 'পয়েণ্ট মিউটেশন' এবং ক্রোমোসোমখণ্ডের পুনর্বিন্যাস (Chromosomal rearrangement), এই উভয়প্রকার ঘটনাই সংঘটিত হয়। ড্রসোফিলায় মাস্টার্ড গ্যাস-এর সম্ভাব্য সর্বোচ্চ মাত্রার দ্বারা উৎপাদিত মিউটেশনের হার এক্স্-রশ্মির সম্ভাব্য সর্বোচ্চ মাত্রার দ্বারা উৎপাদিত হারের সমান। মাস্টার্ড গ্যাস এবং তার সাথে সম্পর্কিত (related) অন্যান্য যৌগগুলি (compounds) ড্রসোফিলা

ব্যতীত অন্যান্য জীবেও (যথা, নিউরোস্পোরা, ব্যাক্‌টিরিয়া ইত্যাদিতে) মিউটেশন সংঘটিত করে।

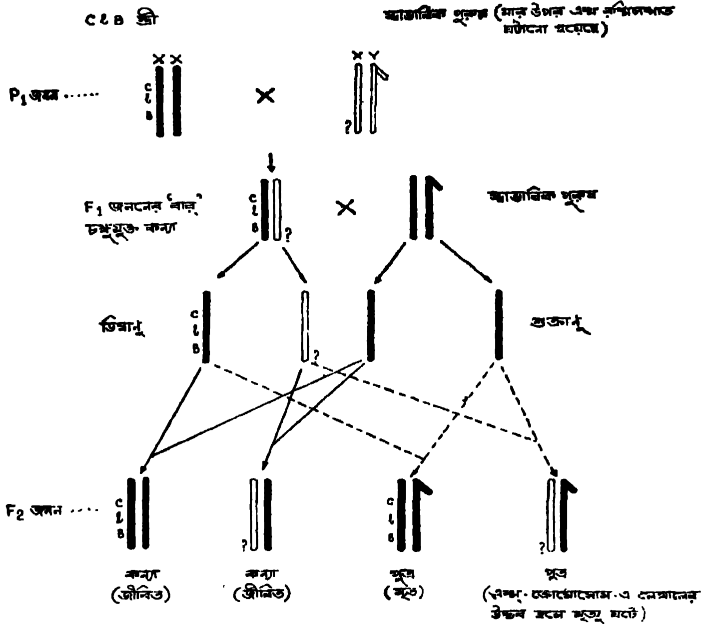
প্রতি বছর মিউটেশন-সৃষ্টিকারী রাসায়নিক এজেণ্ট্‌গুলির তালিকা বৃদ্ধি পাচ্ছে। এই এজেণ্টগুলির মধ্যে উল্লেখযোগ্য কয়েকটি হচ্ছে, **ইথাইল ইউরিথেন** (ethyl urethane), **ফর্ম্যাল্‌ডিহাইড** (formaldehyde), **ফেনল্‌** (phenol) এবং **লোহ ও ম্যাংগানীজ্‌ঘটিত লবণসমূহ** (ferrous and manganous salts)। কিন্তু, কিভাবে তারা মিউটেশন ঘটিয়ে থাকে তা' এখনও পরিষ্কারভাবে বোঝা যায় নি। দৃষ্টান্তস্বরূপ, ড্রসোফিলাকে খাদ্যবস্তুর সঙ্গে ফর্ম্যাল্‌ডিহাইড প্রদান করলে তাদের মধ্যে মিউটেশন সৃষ্টি হতে দেখা যায়, কিন্তু উক্ত পতঙ্গে ভ্যাজাইনা-র (vagina বা যোনি) ভিতর ফর্ম্যাল্‌ডিহাইড্‌-কে প্রবিষ্ট করালে (যেখানে সহবাসের মাধ্যমে লব্ধ শুক্রাণুগুলি থাকে) কোন মিউটেশনের সৃষ্টি হয় না।

**কৃত্রিম উপায়ে সৃষ্ট মিউটেশনের উদ্ঘাটন** (detection)ঃ **মর্গ্যান** ১৯১০ সালে ড্রসোফিলার ওপর তেজস্ক্রিয় রশ্মিসম্পাত ঘটিয়ে তাদের ভেতর মিউটেশনের আবির্ভাব দেখতে পান। অথচ কৃত্রিম উপায়ে যে মিউটেশন সৃষ্টি হতে পারে তা পাকাপাকি ভাবে জানা গেল ১৯২৭ সালে **মুলার**-এর (Muller) পরীক্ষার মাধ্যমে। এখন প্রশ্ন হতে পারে, কৃত্রিম উপায়ে মিউটেশনের সৃষ্টি সম্পর্কে পর্যবেক্ষণ (observation) এবং সে-ব্যাপারে নিঃসন্দেহ হওয়ার (confirmation) মধ্যে সময়ের এত দীর্ঘ ব্যবধানের (১৯১০ সাল থেকে ১৯২৭ সাল) কারণ কি? এর একমাত্র কারণ হচ্ছে, কৃত্রিম উপায়ে সৃষ্ট মিউটেশন এবং স্বেচ্ছাপ্রণোদিত মিউটেশনের মধ্যে পার্থক্য বুঝতে পারার কৌশলের (technique) অভাব। এই কৌশলের উদ্ভাবনকাজে মুলার প্রায় ১০ বছর অতিবাহিত করেন এবং অবশেষে আলোচ্য কাজের উপযুক্ত কৌশলের আবিষ্কার করেন। এই কৌশলগুলির মধ্যে সেক্স-লিংক্‌ড্‌ লেথাল (sex-linked lethal) মিউটেশন নির্ধারণের জন্য 'সি-এল-বি কৌশলটি' (ClB method) অন্যতম।

**সি-এল-বি কৌশল**ঃ এক্স্‌-রশ্মির দ্বারা ড্রসোফিলার যে কোন ক্রোমোসোমেই লেথাল মিউটেশনের সৃষ্টি হতে পারে, কিন্তু এক্ষেত্রে আমরা কেবলমাত্র এক্স্‌-ক্রোমোসোমে সৃষ্ট উক্তরূপ মিউটেশনের মধ্যেই আমাদের আলোচনাকে সীমাবদ্ধ রাখব।

সি-এল-বি শ্রেণীর (ClB stock) স্ত্রী ড্রসোফিলাগুলির একটি এক্স্‌-

ক্রোমোসোমে একটি খুব ছোট ইন্‌ভার্শন থাকে (C—inversion) [ এটি ক্রোমোসোমখণ্ডের একধরণের পুনর্বিন্যাস ], যেটি ঐ অংশে ক্রসিং ওভার সংঘটিত হতে দেয় না; এছাড়া থাকে একটি রিসেসিভ্‌ লেথাল জীন (l) এবং 'বার্‌' চক্ষুর জন্য একটি ডমিনান্ট জীন (B)। অপর এক্স্‌টি স্বাভাবিক ধরণের। এরূপ পতঙ্গগুলিকে 'সি-এল-বি স্ত্রী পতঙ্গ' (ClB females) বলা হয়। স্বাভাবিক পুরুষগুলির ওপর এক্স্‌-রশ্মিসম্পাত ঘটিয়ে সি-এল-বি স্ত্রী পতঙ্গগুলির সাথে তাদের ক্রস্‌ (cross) করান হয় (৩৩ নং চিত্র)।



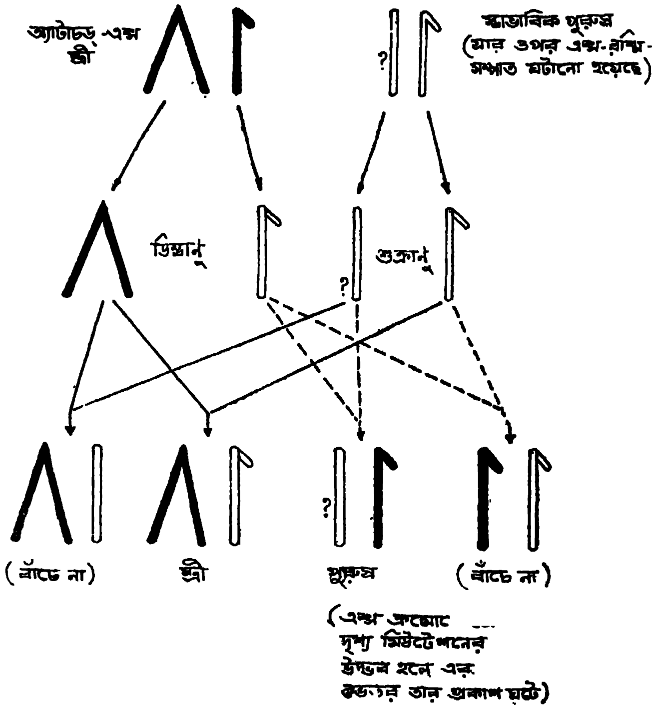

৩৩ নং চিত্রঃ—ড্রসোফিলায় লেথাল উদ্ঘাটনের সি.এল.বি. কৌশল। [ চিত্রে স্বাভাবিক পুরুষের শুক্রাণু যেখানে দেখানো হয়েছে, সেখানে ডানদিকের ওয়াই ক্রোমোসোমটির মাথার বাঁকানো অংশটি বাদ পড়েছে। ]

$F_1$ জননের 'বার্‌' চক্ষুযুক্ত কন্যাগুলির মধ্যে মাতার কাছ থেকে পাওয়া সি-এল্‌-বি এক্স্‌-ক্রোমোসোমটি এবং পরীক্ষায় নিয়োজিত পিতার কাছ থেকে পাওয়া অন্য এক্স্‌-টি থাকে। এবার ঐ কন্যাগুলির সাথে একটি

স্বাভাবিক পুরুষের ক্রস্ সম্পাদিত হয়। ফলে $F_2$ জননের অর্ধেকগুলি পুত্র সি-এল-বি ক্রোমোসোমটিকে লাভ করে, সুতরাং তারা বাঁচতে পারে না। হমলগাস এক্স্-ক্রোমোসোমটিতে, যেটি পরীক্ষায় নিয়োজিত $P_1$ জননের পুরুষটির কাছ থেকে এসেছে সেটিতে, যদি কোন লেথাল মিউ-টেশন থাকে তাহলে বাকী অর্ধেক পুত্রও বাঁচতে পারবে না। ফলে $F_2$ জননে কোন পুত্র-সন্তান সৃষ্টি হবে না। অর্থাৎ, ২ কন্যা : ১ পুত্র অনু-পাতের বদলে ২ কন্যা : ০ পুত্র পাওয়া যাবে। অতএব, $F_2$ জননের সি-এল্-বি স্ত্রী পতঙ্গটি যদি কেবলই কন্যা-সন্তানের জন্ম দেয় এবং তার থেকে কোন পুত্র-সন্তানের উৎপত্তি না হয়, তাহলে এটা প্রমাণিত হয় যে ঐ স্ত্রী পতঙ্গটি তার পিতার (যার ওপর এক্স্-রশ্মিসম্পাত ঘটানো হয়েছিল) কাছ থেকে যে এক্স্-ক্রোমোসোমটি লাভ করেছিল তাতে 'লেথাল মিউটেশনের' উদ্ভব হয়েছিল। মাতামহের এক্স্-ক্রোমোসোমে উদ্ভূত লেথাল মিউটেশনটি তার দৌহিত্রের উপর বর্তিয়ে তাকে জন্মলাভে বঞ্চিত করল।

**অ্যাটাচ্ড্-এক্স্ কৌশল** (Attached-X method): ড্রসোফিলায় সেক্স্-লিংক্ড্ দৃশ্য মিউটেশন (sex-linked visible mutation) উদ্ঘাটনের জন্য এই কৌশলটিকে কাজে লাগানো হয়। এটা স্মরণ করা যেতে পারে যে, এক জাতির ড্রসোফিলার স্ত্রীগুলিতে এক্স্-ক্রোমোসোম-দু'টি একটি প্রান্তে পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত থাকে, তদুপরি তাদের ভেতর একটি করে ওয়াই-ক্রোমোসোমও থাকে। (এদের 'অ্যাটাচ্ড্-এক্স্ শ্রেণীর' মাছি বলা হয়)। এই পরীক্ষায় একটি স্বাভাবিক পুরুষ পতঙ্গের উপর তেজস্ক্রিয় রশ্মিসম্পাত ঘটানো হয় এবং পরে ঐ পুরুষটির সঙ্গে একটি অ্যাটাচ্ড্-এক্স্ স্ত্রী পতঙ্গের ক্রস্ সম্পাদিত হয় (৩৪ নং চিত্র)। পরীক্ষায় নিয়োজিত পুরুষটির এক্স্-ক্রোমোসোমে তেজস্ক্রিয় রশ্মি-সম্পাতে কোন দৃশ্য মিউটেশনের উদ্ভব হ'লে $F_1$ জননের পুত্রগুলির মধ্যে তার প্রকাশ ঘটবে।

**অটোসোমাল মিউটেশন নিরূপণ প্রণালী:** এই কাজে ড্রসোফিলার এক-প্রকার 'ব্যালান্স্ড্ লেথাল' গোষ্ঠীর মাছি ব্যবহার করা হয় এবং কোন সুপ্ত মিউটেশন ঘটলে তা তৃতীয় জননে ($F_3$) প্রকাশিত হয়। এই গোষ্ঠীর মাছিগুলির একটি অটোসোমে 'কার্লি' ও 'প্লুম' জীন থাকে এবং অপরটিতে 'লোবট' জীন থাকে। এরা হেটেরোজাইগাস অবস্থায় থাকতে পারে কিন্তু




৩৪ নং চিত্রঃ—দৃশ্য মিউটেশনের উদ্ঘাটনের অ্যাটাচ্ড্-এক্স্ কৌশল। [ অ্যাটাচ্ড্-এক্স্ স্ত্রীর ডিম্বাণু যেখানে দেখানো হয়েছে, সেখানে ডানদিকের ওয়াই ক্রোমোসোমটি অ্যাটাচ্ড্-এক্স্ ক্রোমোসোমটির মতই গাঢ় কালো রঙের হবে। একেবারে নীচের সারির বামদিকের ক্রোমোসোম-জোড়ার মুক্ত এক্স্-ক্রোমোসোমটির পাশের প্রশ্নবোধক চিহ্নটি বাদ পড়েছে। ]

হোমোজাইগাস অবস্থায় জন্মগ্রহণ করতে পারে না। নিরূপণ প্রণালীটি কিঞ্চিৎ জটিল।

**ইভলিউশন-এ মিউটেশনের ভূমিকা** (Rate of mutations in evolution)ঃ জীবের ইভলিউশন-এ অর্থাৎ অভিব্যক্তিতে মিউটেশনের ভূমিকা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। মিউটেশন সম্পর্কে অনুসন্ধানের ফলে জানা গেছে যে, **মিউটেশন এবং ন্যাচারাল সিলেকশন-এর** (natural selection বা প্রাকৃতিক নির্বাচন) **মাধ্যমেই অ্যাডাপ্টিভ ইভলিউশন** (adaptive evolution

বা অভিযোজনসাধিত অভিব্যক্তি) ঘটে থাকে। ইভলিউশনের কাঁচামাল হচ্ছে, 'ভ্যারিয়েশন' (variations বা প্রকরণ)। মিউটেশনের ফলে বিভিন্ন ভ্যারিয়েশনের সৃষ্টি হয়। ন্যাচারাল সিলেকশন এক্ষেত্রে ছাঁকনির (filter) কাজ করে। যদিও লক্ষ্যহীনভাবে মিউটেশনের উৎপত্তি হয়ে থাকে, তথাপি তার মধ্যে কোন-কোনটি পরিবর্তিত পারিপার্শ্বিক অবস্থার সংগে নিজেকে খাপ খাওয়ানোর ফলে ইভলিউশন ঘটতে পারে। কয়েকটি বাস্তব উদাহরণ এই বক্তব্যটিকে পরিষ্কারভাবে বুঝতে সাহায্য করবে।

ইংল্যাণ্ডে 'বিস্টন্ বেটুলেরিয়া' (*Biston betularia*) নামে একপ্রকার মথ আছে। একসময়ে তাদের ডানাগুলি ছিল নানাবর্ণে রঞ্জিত, ফলে গাছের পাতার আড়ালে তারা সহজেই আত্মগোপন করতে পারতো। ক্বচিৎ-কদাচিৎ মিউটেশনের ফলে তাদের মধ্যে কালো ডানাযুক্ত দু'-একটি মথের আবির্ভাব ঘটতো, যেগুলি সহজেই পাখীদের দৃষ্টি আকর্ষণ করতো এবং তাদের ভোজ্য-বস্তুতে পরিণত হ'ত। কিন্তু ইংল্যাণ্ডের শিল্পায়নের (industrialization) সাথে-সাথে পারিপার্শ্বিক অবস্থার পরিবর্তন ঘটলো। শিল্পায়নের সাথে সমান তালে বন-জঙ্গল অপসারণ-ক্রিয়া (deforestation) চলতে লাগলো। এই অবস্থায় কল-কারখানা থেকে নির্গত ধূম্রজাল মিউটেশনের ফলে উদ্ভূত কালো ডানাযুক্ত মথ-গুলির আত্মগোপনের সহজ সুযোগ এনে দিল এবং কালে নানাবর্ণে রঞ্জিত মথগুলির পরিবর্তে নতুন জাতিরূপে কালো মথগুলির আবির্ভাব ঘটলো।

কয়েকটি 'জিওমেট্রিড্ মথ'-কে (যথা, সেলেনিয়া, টেফ্রোসিয়া) নিয়ে **হেস্লপ্-হ্যারিসন এবং গ্যারেট** (Heslop-Harrison and Garrett) একটি চিত্তাকর্ষক পরীক্ষা সম্পাদন করেন। কতকগুলি জিওমেট্রিড মথের রঙ খুব কালো। যেহেতু কালো মথগুলিকে প্রধানত বড়-বড় শহরের কাছে দেখা যায়, সেইকারণে উক্ত গবেষকগণ অনুমান করেন যে গাছ-গাছড়ার ওপর জমা কল-কারখানা থেকে নির্গত ধূম্ররাশির সঙ্গে আসা বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থই এর কারণ। এই অনুমানের সত্যতা নির্ধারণের জন্য হেস্লপ্-হ্যারিসন কতকগুলি হাল্কা রঙের মথকে নিয়ে তাদের লার্ভা-গুলিকে (larva বা শূক) কৃত্রিমভাবে কলুষিত পাতা খাদ্য হিসাবে দেন এবং $F_2$ জননে কালো জাতির মথ সৃষ্টি করতে সমর্থ হন। এই পরীক্ষা থেকে প্রকাশ পাচ্ছে যে, প্রাণীটির খাদ্যের সঙ্গে দেওয়া রাসায়নিক পদার্থের প্রভাবে জার্ম-কোষের একটি জীনে মিউটেশন ঘটেছে এবং ঐ একই প্রক্রিয়ায় অন্যান্য মিউটেশন ঘটাও সম্ভব।

একথা স্মরণ রাখতে হবে যে, অধিকাংশ মিউটেশন-ই সংশ্লিষ্ট জীবের

পক্ষে ক্ষতিকারক। লক্ষ্যহীনভাবে মিউটেশনের সৃষ্টি করে সুন্দরভাবে অভিযোজিত (adapted) প্রাণী ও উদ্ভিদ্গুলির আরও উন্নতি করার সম্ভাবনা বর্তমান অবস্থায় সুদূরপরাহত। তবে কোন-কোন ক্ষেত্রে পারিপার্শ্বিক অবস্থার পরিবর্তন ঘটিয়ে তার সঙ্গে লক্ষ্যহীনভাবে সৃষ্ট মিউটেশনগুলির সমন্বয় সাধন করা যেতে পারে এবং এইভাবেই গৃহপালিত পশুসমূহের ও প্রয়োজনীয় খাদ্য-শস্যের উন্নতিসাধন সম্ভব হতে পারে। সুস্বাদু আপেল ও কমলালেবু, বীজহীন আঙুর ইত্যাদি ফলগুলি মিউটেশনের ফলেই সৃষ্টি হয়েছে। মিংক্ (Mink) এবং সূক্ষ্মলোম-বিশিষ্ট প্রাণিতে মিউটেশনের মাধ্যমে নতুন-নতুন ভ্যারাইটি-র (variety বা প্রকার) উদ্ভব হয়েছে, যার ফলে ফার্-কোট (fur-coat) বিলাসীদের আকাঙ্ক্ষা পরিতৃপ্ত হয়েছে।

গৃহপালিত পশুগুলির এবং প্রয়োজনীয় উদ্ভিদ্গুলির জীনোম-এ (genome) ইতিমধ্যে অবস্থিত ভ্যারিয়েশন্গুলির (variations) এবং স্বেচ্ছাপ্রণোদিত অথবা কৃত্রিমভাবে উৎপাদিত আরও নতুন মিউটেশনের সুনির্বাচনের মাধ্যমে তাদের আরও উন্নতিসাধনের সম্ভাবনা এখনও রয়েছে। তবে কৃত্রিমভাবে সৃষ্ট মিউটেশনের দ্বারা উচ্চশ্রেণীর প্রাণী ও উদ্ভিদের উন্নতিসাধনের ব্যাপারটি এখনও বিতর্কের বিষয়। কেননা, আগেই বলা হয়েছে যে, মিউটেশন লক্ষ্যহীনভাবে সৃষ্টি হয়ে থাকে এবং অবাঞ্ছিত মিউটেশন ব্যতিরেকে কাঙ্ক্ষিত মিউটেশন পাওয়ার সম্ভাবনা খুবই কম।

কৃত্রিম উপায়ে সৃষ্ট মিউটেশনের দ্বারা মানবজাতি কিরূপ লাভবান হয়েছে, 'পেনিসিলিন'-এর (penicillin) দৃষ্টান্তটি উল্লেখ করলে তা' সহজেই বোঝা যাবে। 'পেনিসিলিয়াম' (*Penicillium*) নামক একটি ছত্রাক থেকে এই মূল্যবান অ্যাণ্টিবায়োটিক-টি (antibiotic) পাওয়া যায়। পেনিসিলিন যখন প্রথম আবিষ্কৃত হয়, তখন তার উৎপাদ (yield) ছিল খুব কম, ফলে অত্যন্ত সীমিত পরিমাণে তা' উৎপাদিত হত। সমস্যাটির যথাযথ সমাধানের উদ্দেশ্যে লক্ষ লক্ষ স্পোর-এর (spores বা রেণু) ওপর তেজস্ক্রিয় রশ্মি-সম্পাত ঘটানো হয় এবং তা' থেকে কতকগুলি পেনিসিলিয়াম কলোনি (penicillium colony) পাওয়া সম্ভব হয় যাদের গড় উৎপাদ মূল (original) ছত্রাকগুলির তুলনায় অনেক বেশী।

খাদ্য, পশম, চামড়া ইত্যাদি লাভের জন্য এবং মালবহনের কাজে লাগাবার জন্য মানুষ পশুপালন করে। স্পষ্ট উদ্দেশ্য সামনে রেখে এবং যথোপযুক্ত অধ্যবসায় ও বিচারবুদ্ধির প্রয়োগ করে পশু-প্রজনকারীরা তাঁদের নিজ-নিজ

পশুপালের জার্ম-প্লাজ্‌মের উন্নতিসাধনের মাধ্যমে প্রয়োজনীয় সামগ্রীর অধিক উৎপাদনের সুযোগ সৃষ্টি করতে পারেন।

**রোগ প্রতিরোধ ক্ষমতা** (disease resistance) একটি দৃষ্টি-আকর্ষক উত্তরাধিকারযাগ্য বৈশিষ্ট্য (heritable character), বিশেষ করে হাঁস-মুরগী প্রভৃতি গৃহপালিত পাখীতে। পাখীদের 'ডিফ্‌থেরিয়া' (diptheria) প্রতিরোধ ক্ষমতা একটিমাত্র জীন-এর দ্বারা নির্ধারিত হয় এবং সেটি একটি সরল ধরণের (অন্য জীনের প্রভাবমুক্ত) ডমিনাণ্ট জীন। মুরগীর 'পক্ষাঘাত' (paralysis) প্রতিরোধ শক্তি-ও একটিমাত্র জীন-এর উপর নির্ভরশীল। অন্যান্য জাতির মুরগীর তুলনায় সাদা লেগহর্ন (Leghorn) মুরগীগুলির স্যাল্‌মোনেলা পুলোরাম্‌১-কে (*Salmonella pullorum*) প্রতিরোধ করার ক্ষমতা বেশী। অধিকন্তু, সিলেক্‌শন বা নির্বাচনের মাধ্যমে এই ক্ষমতাটির উন্নতিসাধন করা যেতে পারে। একটি অনুসন্ধানের দ্বারা জানা গেছে যে, সযত্ননিয়ন্ত্রিত পরীক্ষামূলক পরিবেশে তিন বছরব্যাপী নির্বাচনের মাধ্যমে একই মাত্রার (dosage) ব্যাক্‌টিরিয়ায় এদের মৃত্যুহার শতকরা ৭৩ থেকে শতকরা ২৪-এ নেমে এসেছিল। মুরগীর 'স্যাল্‌মোনেলা গ্যালিনেরাম্‌'-কে (*Salmonella gallinarum*) প্রতিরোধ করার ক্ষমতাও নির্বাচনের মাধ্যমে দ্রুত বৃদ্ধি করা যেতে পারে।

জার্মানীদেশীয় উদ্ভিদ্‌-প্রজনবিদ্‌ **এইচ. স্টাবী** (H. Stubbe) বার্লি, গম, ওট, টমাটো এবং অন্যান্য উদ্ভিদে এমন কতকগুলি কৃত্রিম উপায়ে উৎপাদিত মিউটেশনের কথা জানিয়েছেন, যেগুলির দ্বারা বর্তমানের চাষযোগ্য স্পিসিসগুলির উন্নতিসাধনের যথেষ্ট সম্ভাবনা আছে। দৃষ্টান্তস্বরূপ, বার্লির ক্ষেত্রে মিউটেশনের মাধ্যমে অধিক উৎপাদ- (yield) সম্পন্ন, অধিক প্রোটীন-সমন্বিত এবং খোসাবিহীন বীজবিশিষ্ট ভ্যারাইটি বা প্রকার-এর উদ্ভব হয়েছে।

প্রয়োজনীয় খাদ্যশস্যগুলিতে কৃত্রিম উপায়ে সৃষ্ট মিউটেশনের মাধ্যমে রোগ প্রতিরোধ-শক্তি সৃষ্টির ক্ষেত্রে বেশ কিছু সফলতা লাভ করা গেছে। রোগ-প্রতিরোধক মিউটেশন সম্পর্কে গবেষণাকালে, যে উদ্ভিদের ওপর তেজস্ক্রিয় রশ্মিসম্পাত ঘটানো হয়েছে তার বীজগুলিকে নিয়ে রোগ-সৃষ্টিকারী জীবসমূহ থেকে নির্গত টক্সিন্‌-এর (toxins বা অধিবিষ) মধ্যে সেগুলিকে রাখা হয়। পরে ভিজে ফিল্টার কাগজের উপর বীজ-গুলির অঙ্কুরোদ্গম ঘটানো হয়। রোগ প্রতিরোধ-শক্তিবিহীন বীজ-

১ টাইফয়েড্‌ রোগ সৃষ্টিকারী ব্যাক্‌টিরিয়া।

গুলির টক্সিন্-এর ক্রিয়ায় মৃত্যু ঘটে, ফলে তাদের অঙ্কুরোদ্গম হয় না অপরপক্ষে, যে কয়েকটি বীজের মধ্যে প্রতিরোধ-শক্তির উদ্ভব হয় তাদের অঙ্কুরোদ্গম ঘটে এবং সেগুলি থেকেই বিশেষ রোগটির প্রতিরোধ-শক্তি সম্পন্ন উদ্ভিদ্-গোষ্ঠীর উৎপত্তি হয়।

স্বেচ্ছাপ্রণোদিত ও কৃত্রিম উপায়ে সৃষ্ট মিউটেশন এবং সেই সাথে প্রাকৃতিক ও কৃত্রিম নির্বাচনের (Natural and Artificial selections) মাধ্যমে কেমন করে নতুন গোষ্ঠীর উদ্ভব হয়, তার কয়েকটি উদাহরণ উপরে দেওয়া হ'ল।

# ৮ ॥ সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌হেরিট্যান্স

## Cytoplasmic Inheritance

## বা

## সাইটোপ্লাজম্‌-নিয়ন্ত্রিত উত্তরাধিকার

জেনেটিক্স্‌-এর (Genetics) ইতিহাস পর্যালোচনা করলে দেখা যাবে যে, সাইটোপ্লাজ্‌মস্থ কোন বস্তু হেরিডিটি বা বংশগতি নিয়ন্ত্রণে অংশ গ্রহণ করছে, এধরণের উল্লেখ প্রায়ই চোখে পড়ছে। অর্থাৎ, নিউক্লিয়সস্থ জীন-এর মত কোন বস্তুর অস্তিত্ব সাইটোপ্লাজ্‌মে আছে বলে অনুমান করা হয়েছে। কিন্তু অধিকাংশ ক্ষেত্রেই দেখা গেছে যে ঐরূপ অনুমান যুক্তিগ্রাহ্য নয়। তবে কোন-কোন ক্ষেত্রে সাইটোপ্লাজ্‌মে 'ডি-এন-এ'-র (নিউক্লিয়সস্থ জীন যে-পদার্থটি দিয়ে তৈরী) অস্তিত্ব ধরা পড়েছে এবং তাদের এক জননের (generation) বার্তা পরবর্তী জননে বহন করে নিয়ে যেতেও দেখা গেছে।

সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌হেরিট্যান্স বা নিউক্লিয়স-বহির্ভূত উত্তরাধিকার (extranuclear inheritance) বলে সত্যিসত্যিই কোন কিছুর অস্তিত্ব থাকলে, তাকে **সাইটোপ্লাজ্‌মে অবস্থিত আত্মনির্ভরতাসম্পন্ন হেরিডিট্যারি বা বংশগতিনিয়ন্ত্রক এককের** (independent hereditary units) **ওপর সর্বতোভাবে নির্ভরশীল হতে হবে।** এই হেরিডিট্যারি উপাদানগুলির ফীনোটাইপকে (phenotype) প্রভাবিত করবার ক্ষমতা ছাড়াও আরও কতকগুলি গুণ থাকা প্রয়োজন। সেই গুণগুলি হচ্ছে, **অপরিবর্তনশীলতা** (stability) এবং **আত্মোৎপাদন** (self-duplication) ও **মিউটেশন**-এর সামর্থ্য।

সাইটোপ্লাজ্‌মে অবস্থিত হেরিডিট্যারি বস্তু-সমূহকে সমষ্টিগতভাবে 'প্লাজ্‌মন' (plasmon) বলা হয়। বিভিন্ন সময়ে সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌-হেরিট্যান্স বলে যে ঘটনাগুলিকে দাবী করা হয়েছে, তাদের কয়েকটির পর্যালোচনা নীচে করা হ'ল।

**ডাওয়ার-মডিফিকেশন** (Dauermodification)ঃ বিংশ শতাব্দীর গোড়ার দিকে **জোলোস** (Jollos) নানা শ্রেণীর প্রোটোজোয়াকে (Protozoa) প্রাণঘাতী মাত্রার চেয়েও কম মাত্রায় (sub-lethal dose) 'বিষ' প্রয়োগ করে এবং 'উত্তাপ-অভিঘাত' (heat shock) প্রদান করে লক্ষ্য

করেন, পরীক্ষায় নিয়োজিত প্রাণিগুলির মধ্যে অঙ্গবিকৃতি (morphological abnormalities) ঘটেছে। তিনি এটাও লক্ষ্য করেন যে, ঐ বিকৃতিগুলি মূল উদ্দীপক (বিষ অথবা উত্তাপ) ব্যতিরেকেই কয়েক জনন (generation) ধরে সন্তান-সন্ততিতে হস্তান্তরিত হচ্ছে। কিন্তু আনুক্রমিক (successive) জননগুলিতে, সম্ভবত সাইটোপ্লাজ্‌মে বিষাক্ত দ্রব্যগুলির এবং উত্তাপ-অভিঘাতের দ্বারা উৎপাদিত বস্তুগুলির লঘুকরণের (dilution) ফলে, বিকৃতির মাত্রা ক্রমশই হ্রাস পাচ্ছে। অবশেষে কয়েক জনন পরে বিকৃতিগুলি সম্পূর্ণরূপে অন্তর্হিত হচ্ছে। পরিবেশের (environment) দ্বারা উৎপাদিত এরূপ কোন বৈশিষ্ট্য কয়েকটি আনুক্রমিক জননে হস্তান্তরিত হ'তে থাকলে তাকে 'ডাওয়ার-মডিফিকেশন' বলা হয়।

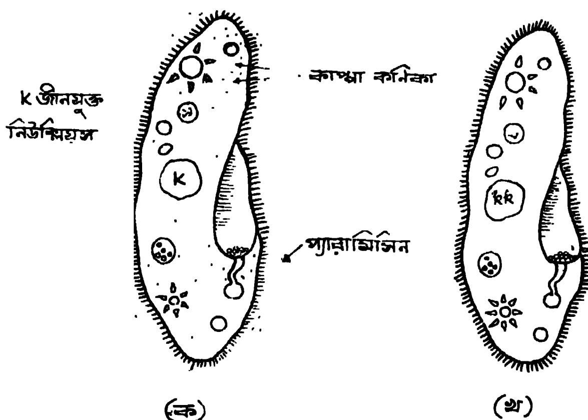
ডাওয়ার-মডিফিকেশনকে কখনই সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌হেরিট্যান্স বলে দাবী করা চলে না। কেননা, এর একটি সাংঘাতিক ত্রুটি হচ্ছে, এটা ধীরে-ধীরে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে আসে। প্লাজ্‌মন্‌-নিয়ন্ত্রিত কোন বৈশিষ্ট্যকে নিশ্চিতরূপে সাইটোপ্লাজ্‌মস্থ আত্মোৎপাদনকারী উপাদান-গুলির ওপর নির্ভরশীল হতে হবে। ঐ বৈশিষ্ট্যকে কয়েক জনন অন্তর বাইরের কোন উদ্দীপকের (external stimuli) প্রত্যাশী হ'লে চলবে না।

**প্যারামিসিয়াম-এর মারণ কণিকা** (Killer particles of *Paramoecium*)**ঃ টি. এম. সোন্‌বর্ণ্‌** (T. M. Sonneborn) এবং তাঁর সহ-কর্মীরা প্যারামিসিয়ামের প্রাণঘাতী (killing) বৈশিষ্ট্যটিকে নিয়ে অনেক গবেষণা করেন। কয়েক জাতির (race) 'প্যারামিসিয়াম অরিলিয়া' (*Paramoecium aurelia*) এমন একটি পদার্থ উৎপাদন করে যার দ্বারা ঐ একই স্পিসিসের (species) অন্তর্গত অন্য জাতির প্যারামিসিয়াম-গুলির মৃত্যু ঘটে। ঐ প্রাণঘাতী পদার্থটিকে বলা হয় 'প্যারামিসিন' (Paramoecin)। প্যারামিসিন উৎপাদনক্ষম প্যারামিসিয়ামগুলিকে 'হত্যাকারী জাতি' (killer race) আখ্যা দেওয়া হয়েছে। একই পোষক-মাধ্যমে (nutritive-medium) হত্যাকারী জাতি এবং 'সুবেদী জাতি'-র (sensitive races) প্যারামিসিয়ামগুলিকে রাখলে প্যারামিসিন-এর ক্রিয়ায় শেষোক্ত প্রাণিগুলির মৃত্যু ঘটে। হত্যাকারী জাতির ওপর প্যারা-মিসিন-এর কোন প্রতিক্রিয়া নেই।

হত্যাকারী জাতির সাইটোপ্লাজ্‌মে কতকগুলি কণিকা দেখা যায়, যেগুলি

'মারণ কণিকা' (killer particles) বা 'কাপ্পা কণিকা' (kappa particles) নামে পরিচিত। এই কণিকাগুলি ডি-এন-এ (DNA), আর-এন-এ (RNA) এবং প্রোটীন দ্বারা তৈরী। হত্যাকারী জাতিকে কম উত্তাপে (low temperature) এবং স্বল্পাহারে (poor food) রাখলে তাদের প্রাণঘাতী ক্ষমতাটি লোপ পায়। গাণিতিক হিসাবের মাধ্যমে নিরূপণ করা হয়েছিল যে, প্রাণঘাতী শক্তিকে বজায় রাখার জন্য হত্যাকারী জাতির অন্তর্ভুক্ত প্রতিটি প্রাণির দেহে অন্তত ৪০০ 'কাপ্পা কণিকা' থাকা দরকার। উক্ত অনুমানভিত্তিক (hypothetical) হিসাবের পর, হত্যাকারী জাতির প্রাণিগুলিকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পরীক্ষা করে তাদের ভিতর প্রত্যাশিত সংখ্যায় কাপ্পা কণিকা দেখা গেছে।

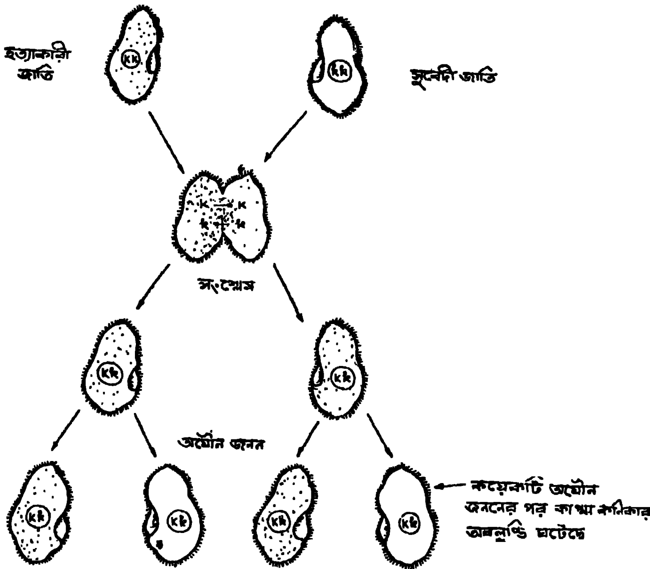
কাপ্পা কণিকাগুলিকে প্রথমে আত্মনির্ভরতাসম্পন্ন হেরিডিট্যারি উপাদান বা 'প্লাজ্মা-জীন' (plasma-genes) রূপে অনুমান করা হয়েছিল। অধিকতর অনুসন্ধানের ফলে জানা যায়, যে-সকল প্রাণির নিউক্লিয়সে 'K' প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত জীনটি থাকে, তাদের মধ্যে কাপ্পা কণিকা পাওয়া যায়। সুবেদী প্যারামিসিয়ামগুলিতে উক্ত জীনটির রিসেসিভ্ অ্যালীল্টি (recessive allele) হোমোজাইগাস (homozygous) অবস্থায় থাকে (kk) [৩৫ নং চিত্র]। অর্থাৎ, এই অনুসন্ধানের দ্বারা




৩৫ নং চিত্রঃ—'প্যারামিসিয়াম অরিলিয়া'-য় কাপ্পা কণিকা। (ক) হত্যাকারী জাতি; (খ) সুবেদী জাতি (sensitive race)।

কাপ্পা কণিকাগুলি নিউক্লিয়সস্থ একটি জীনের উপর নির্ভরশীল বলে জানা যায়।

পরবর্তীকালে যথোপযুক্ত কৌশলের সাহায্যে (যাতে সঙ্গীটির মৃত্যু না হয়), 'হত্যাকারী জাতি' এবং 'সুবেদী জাতি'-র মধ্যে কন্‌জুগেশন (conjugation বা সংশ্লেষ) ঘটানো হয়েছিল। কন্‌জুগেশন-অন্তে প্রাণিগুলির যে বিভাজন (division) হয়, তাতে দেখা যায়, হত্যাকারী জাতিটি কেবলই হত্যাকারীর এবং সুবেদী জাতিটি কেবলই সুবেদী প্রাণির সৃষ্টি করছে। এথেকে ইঙ্গিত পাওয়া যায় যে, কন্‌জুগেশনের সময় নিউক্লিয়-জীনের যে বিনিময় ঘটেছিল, কাপ্পা কণিকা সৃষ্টিতে তার কোন প্রভাব নেই। উক্ত পরীক্ষাকালে দেখা গেছে যে, কখনও-কখনও কন্‌জুগেশন-ক্রিয়া স্বাভাবিক সময়ের চেয়েও দীর্ঘস্থায়ী হয়। এরূপ ক্ষেত্রে মিলনরত দু'টি প্রাণির মধ্যে নিউক্লিয়-উপাদানগুলির বিনিময়ের সাথে-সাথে কিছুটা পরিমাণ সাইটোপ্লাজ্মেরও বিনিময় ঘটে (৩৬ নং চিত্র)। এর ফলে সুবেদী প্রাণিটি কিছু




৩৬ নং চিত্র:—দীর্ঘস্থায়ী কন্‌জুগেশন্‌ক্রিয়ার সময় হত্যাকারী জাতি থেকে সুবেদী জাতিতে কাপ্পা কণিকার হস্তান্তর ঘটছে।

কাপ্পা কণিকা লাভ করে হত্যাকারী প্রাণিতে রূপান্তরিত হয়। এরূপে হত্যাকারী প্রাণিতে রূপান্তরিত হওয়ার পর, তার প্রাণঘাতী শক্তিটি আনুক্রমিক (successive) সাত জনন ধরে রক্ষিত হয়েছিল, কিন্তু পরিশেষে

তার (প্রাণঘাতী শক্তির) অবলুপ্তি ঘটে। অপরপক্ষে K-জীনটি বহনকারী প্যারামিসিয়াম থেকে কাপ্পা কণিকাগুলিকে অপসারণ করে দেখা যায়, তারা নতুন কাপ্পা সৃষ্টি করতে পারে না।

উপরি-উক্ত পরীক্ষাগুলি থেকে প্রমাণিত হয় যে, কাপ্পা কণিকাগুলি 'K' জীনটির ওপর কোনভাবেই নির্ভরশীল নয় এবং তাদের সৃষ্টিতেও 'K' জীনটির কোনই অবদান নেই। প্রীর (Preer) কাপ্পা কণিকাগুলিকে স্টেন্ (stain বা রঞ্জিত) করে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখতে সমর্থ হয়েছেন। অথচ, জীন সম্পর্কে সাম্প্রতিককাল পর্যন্ত যতটা জ্ঞান আমরা আহরণ করেছি তাতে আমরা নিশ্চিতভাবে জেনেছি যে, তাদের আকার এতই ক্ষুদ্র যে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে তাদের দেখা সম্ভব হয় না। অতএব, কাপ্পা কণিকাগুলির অপেক্ষাকৃত বৃহৎ আকারের জন্য তাদের জীন-রূপে স্বীকার করা যায় না। তদুপরি, কাপ্পা কণিকাগুলির বিভাজনের হার প্যারামিসিয়াম-এর বিভাজনের হার থেকে স্বতন্ত্র। অধিকতর উত্তাপে কাপ্পার উক্ত হার প্যারামিসিয়ামের চেয়ে কম। 'হত্যাকারী জাতি'-কে কয়েক জনন ধরে অধিকতর উত্তাপে পালন (culture) করলে, তাদের মধ্যে কাপ্পা কণিকার সংখ্যা হ্রাস পায়। তখন প্যারামিসিয়ামের প্রতিবার বিভাজনের সময় প্রতিটি কাপ্পার বিভাজন ঘটে না। এইভাবে সৃষ্ট কতকগুলি প্রাণির মধ্যে কোন কাপ্পা কণিকা না থাকায় তারা সুবেদী (sensitive) প্রাণিতে পরিণত হয়। 'কাপ্পা' যদি 'জীন' হ'ত, তাহলে এইধরণের ঘটনা কদাচ ঘটতো না (কেননা, কোষ-বিভাজনের আগে ক্রোমোসোমের, অতএব জীন-এর, বিভাজন অবশ্যম্ভাবী)। কিন্তু কাপ্পা যদি কোন একটি 'জীব' (organism) হয়, তাহলে তার বিভাজনের হার প্যারামিসিয়ামের থেকে স্বতন্ত্র হতে পারে। সংক্ষেপে বলতে গেলে, কাপ্পা কণিকাগুলির অপেক্ষাকৃত বৃহৎ আকার এবং স্বতন্ত্র বিভাজনের হার (independent division rate), তারা যে কোন এক প্রকারের 'জীব' সেই মতটিকেই সমর্থন করে।

কাপ্পা যদি কোন এক প্রকারের জীব হয়, তাহলে তা নিশ্চয়ই একটি সিম্বায়োন্ট্ (symbiont বা অন্যোন্যজীবী)। কেননা, তারা পরজীবীদের (parasites) মত হোস্ট্-এর (host বা পোষক) কোন ক্ষতি করে না। পক্ষান্তরে, তারা হোস্ট্‌কে প্রতিযোগীদের (অন্যান্য প্যারামিসিয়াম) হাত থেকে মুক্তি পেতে সাহায্য করে। মোট কথা, কাপ্পাকে কোনমতেই 'সাইটোপ্লাজ্মীয় জীন' (cytoplasmic gene) হিসাবে বিবেচনা করা যেতে পারে না।

**ড্রসোফিলার $CO_2$ সুবেদিতা** (**$CO_2$ sensitivity in *Drosophila***)**ঃ** **ল্‌ হেরিটিয়র** এবং **টীসীয়র** (L' Heritier and Teissier) এক শ্রেণীর (strain) ড্রসোফিলাকে কার্বনডায়ক্সাইড্‌-এর (carbondioxide) প্রতি সুবেদী (sensitive) বলে লক্ষ্য করেন। উপযুক্ত পর্যবেক্ষণের দ্বারা জানা যায়, অধিকাংশ ড্রসোফিলাকেই ঘণ্টার পর ঘণ্টা কার্বনডায়ক্সাইডের সংস্পর্শে রাখলেও তাদের কোনপ্রকার স্থায়ীরূপ ক্ষতিসাধন হয় না। কিন্তু, সুবেদী পতঙ্গগুলিকে স্বল্পকালের জন্যও উক্ত গ্যাসের (gas) সংস্পর্শে রাখলে তাদের কয়েকটি পা পক্ষাঘাতগ্রস্ত (paralytic) হয়ে যায়। রেসিপ্রোকাল ক্রস্‌১-এর(reciprocal cross) দ্বারা জানা গেছে যে, উক্ত বৈশিষ্ট্যটি প্রধানত মাতার দ্বারা এবং কয়েকটি বিশেষ পারিপার্শ্বিক অবস্থায় পিতার দ্বারা পরবর্তী জননে হস্তান্তরিত হয়।

সুবেদী পতঙ্গগুলির সোমাটিক কোষ ও জার্ম-কোষের সাইটোপ্লাজ্‌মে কতকগুলি কণিকার (particles) উপস্থিতি ধরা পড়েছে এবং তাদের **জেনয়েড** (genoid) বা **সিগ্‌মা কণিকা** (sigma particles) আখ্যা দেওয়া হয়েছে। জেনয়েড-এর মিউটেশনও হতে পারে। একটি মিউটেশনের উল্লেখ

১ 'রেসিপ্রোকাল ক্রস্‌' কথাটির দ্বারা দ্বিতীয় একটি ক্রস্‌কে বোঝানো হয়, যে ক্রস্‌টি একই শ্রেণীর (strain) দু'টি প্রাণীর প্রথম অনুষ্ঠিত ক্রসের বিপরীত সেক্স্‌-এর (Sex) মধ্যে সাধিত হয়। যেমন, 'ক' শ্রেণীর পুং × 'খ' শ্রেণীর স্ত্রী এবং 'ক' শ্রেণীর স্ত্রী × 'খ' শ্রেণীর পুং —এই ক্রস্‌দু'টি রেসিপ্রোকাল ক্রস্‌।

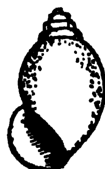
শুক্রাণুর ভেতর নামমাত্র সাইটোপ্লাজ্‌ম থাকে: সেই তুলনায় ডিম্বাণুর ভেতর সাইটোপ্লাজ্‌মের পরিমাণ অনেক বেশী। অতএব সাইটোপ্লাজ্‌মের ভেতর কোন হেরিডিট্যারি উপাদান থাকলে, সেগুলির শুক্রাণুর তুলনায় ডিম্বাণু মারফৎ পরবর্তী জননে হস্তান্তরিত হওয়ার সম্ভাবনাটি বেশী থাকবে। ধরা যাক, দৈর্ঘ্যনিয়ন্ত্রক উপাদানগুলির অবস্থিতি সাইটোপ্লাজ্‌মে, এবং 'ক' জাতিটি লম্বা ও 'খ' জাতিটি বামন (dwarf) আকারের। তাহলে 'ক' জাতির (লম্বা) একটি স্ত্রীর সঙ্গে 'খ' জাতির (বামন) একটি পুরুষের ক্রস্‌ সম্পাদিত হ'লে তাদের সন্তান-সন্ততি মাতার সাইটোপ্লাজ্‌মের মাধ্যমে উচ্চতার (tallness) এককগুলিকে লাভ করবে [ কিন্তু, পিতার খর্বতার (dwarfness) এককগুলি নয় ] এবং আকারে লম্বা হবে। অপরপক্ষে, রেসিপ্রোকাল ক্রস্‌ সম্পাদিত হ'লে 'খ' জাতির স্ত্রী (বামন) × 'ক' জাতির পুং (লম্বা), সন্তান-সন্ততি ডিম্বাণু মারফৎ খর্বতার এককগুলিকে লাভ করবে এবং বামনাকারবিশিষ্ট হবে। সুতরাং, কোন জীবে সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌হেরিট্যান্সের অস্তিত্ব আছে কিনা, তা' জানার একটি উপায় হচ্ছে, রেসিপ্রোকাল ক্রস্‌ সম্পাদন করা এবং লক্ষ্য করা যে আলোচ্য বৈশিষ্ট্যটি উভয়-ক্ষেত্রেই মাতার দিক দিয়ে হস্তান্তরিত হচ্ছে কিনা?

পাওয়া গেছে, যার ফলস্বরূপ জেনয়েডগুলি পিতার মারফৎ হস্তান্তরিত হওয়ার সামর্থ্য হারিয়ে ফেলে।

জেনয়েডগুলিকেও 'সাইটোপ্লাজ্‌মীয় জীন' রূপে বিবেচনা করা যায় না। তার কারণ, তাদের সংক্রমণ (infection) ক্ষমতা আছে। সুবেদী পতঙ্গ-গুলিকে পেষণ (crush) করে ও রিঙ্গারের দ্রবণে (Ringer's solution) তাকে লঘু (dilute) করে সেই অবলম্বনকে (suspension) সেণ্ট্রিফিউজ্‌ করে যদি স্বাভাবিক পতঙ্গের দেহে ঐ নির্যাসকে সূচিপ্রয়োগে (injection) প্রবেশ করানো যায়, তাহলে স্বাভাবিক পতঙ্গ সুবেদী পতঙ্গে রূপান্তরিত হয়। এই পরীক্ষা জেনয়েড-এর 'সংক্রমণ ক্ষমতা'র প্রমাণ দিচ্ছে। জীন-এর এরূপ সংক্রমণ ক্ষমতা নেই। তদুপরি, তাদের আকার (size) অবিকল ভাইরাস-এর (virus) মত হওয়ায়, তারা একপ্রকার **ভাইরাস** বলে বর্তমানে সিদ্ধান্ত হয়েছে।

**শামুকের খোলকের ছাঁচ** (Shell pattern in snail)ঃ সাধারণত একটি শামুকের খোলকটি ডান দিকে পাক খেয়ে থাকে [তাকে ডেক্স্‌ট্রাল (dex-tral বা দক্ষিণাবর্ত) খোলক বলা হয়], কিন্তু কখনও-কখনও একটি রিসেসিভ্‌ মিউটেশনের ফলে খোলকটি বাম দিকে পাক খায় [তাকে সিনিস্‌-ট্রাল (sinistral বা বামাবর্ত) খোলক বলা হয়, ৩৭ নং চিত্র]। 'লিম্‌নিয়া



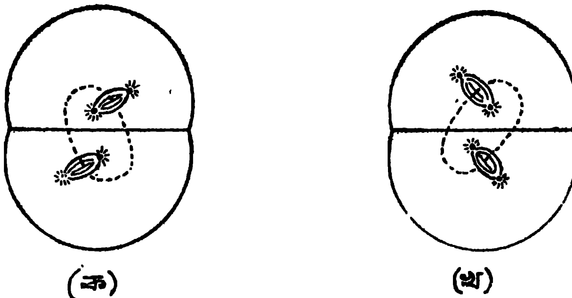

৩৭ নং চিত্রঃ—শামুকের খোলকের ছাঁচ।

পেরেগ্রা' (*Limnaea peregra*) নামক একটি শামুকের অমিশ্রিত (pure) ডেক্স্‌ট্রাল এবং সিনিস্‌ট্রাল জাতির (race) মধ্যে রেসিপ্রোকাল ক্রসের (সিনিস্‌ট্রাল ♀ × ডেক্স্‌ট্রাল ♂, ডেক্স্‌ট্রাল ♀ × সিনিস্‌ট্রাল ♂) দ্বারা দেখা গেছে, প্রতি ক্রসের $F_1$ জননের প্রাণিগুলির খোলক মাতার মত হয়ে থাকে। রেসিপ্রোকাল ক্রসের এবম্বিধ ফলাফল থেকে অনুমিত হতে পারে

যে, এক্ষেত্রে ইন্হেরিট্যান্স্টি সাইটোপ্লাজ্মিক। কিন্তু, **বয়কট, ডাইভার এবং গার্স্ট্যাঙ** (Boycott, Diver এবং Garstang) দেখিয়েছেন, উক্ত ঘটনাটি সাইটোপ্লাজ্মিক ইন্হেরিট্যান্সের ঘটনা নয়, ওটি **'জীন-এর বিলম্বিত ক্রিয়া'**-র ফল (delayed gene effect)।

একথা জানা আছে যে, নিউক্লিয়-জীনগুলি সাইটোপ্লাজ্মকে প্রভাবিত করে তাকে নিজের অনুরূপ করে গড়ে নেয়। সাধারণত, ডেভেলপ্মেণ্ট (development) বা ক্রমবর্ধনক্রিয়া চলাকালীন জীনগুলি ঐ কাজটি সাধন করে। কিন্তু, কয়েকটি বিশেষ-বিশেষ ক্ষেত্রে একটি জীন বিকাশমান (developing) প্রাণিটির সাইটোপ্লাজ্মের ওপর তার প্রভাব বিস্তার না করে, যতক্ষণ না প্রাণিটি পরিণতাবস্থা প্রাপ্ত হচ্ছে ততক্ষণ অপেক্ষা করে এবং স্ত্রী-প্রাণির ক্ষেত্রে, জীনটি সেসময়ে (পরিণত অবস্থায়) তার অনিষিক্ত (unfertilized) ডিম্বাণুগুলির সাইটোপ্লাজ্মের ওপর প্রভাব বিস্তার করে তাকে নিজের অনুরূপ করে গড়ে নেয়। জীনের এই ধরণের ক্রিয়াকে 'বিলম্বিত ক্রিয়া' (delayed effect) বলা হয়।

**ক্র্যাম্প্টন** (Crampton), **কঙক্লিন** (Conklin) এবং অন্যান্য গবেষকগণ প্রমাণ করেছেন, শামুকের খোলকটি ডেক্স্ট্রাল না সিনিস্ট্রাল হবে তা' দ্বিতীয় (সম্ভবত প্রথম) ক্লীভেজ-এর (cleavage) সময়কার স্পিণ্ড্লের (spindle) নির্দিষ্ট দিকের আবর্তিত অবস্থার (orientation) দ্বারা নির্ধারিত হয়। সিনিস্ট্রাল খোলকের ক্ষেত্রে স্পিণ্ড্লটি মধ্যরেখার বাম দিকে কাত হয়ে থাকে এবং ডেক্স্ট্রাল খোলকের ক্ষেত্রে তা' ডান দিকে কাত হয়ে থাকে (৩৮ নং চিত্র)। আবার স্পিণ্ড্লের এই অবস্থানটি, পর্যায়ক্রমে,




৩৮ নং চিত্রঃ—(ক) এইরূপ ক্লীভেজ সিনিসট্রাল খোলকের সৃষ্টি করবে; (খ) এইরূপ ক্লীভেজ ডেক্স্ট্রাল খোলকের সৃষ্টি করবে।

মাতার সঙ্গে ডিম্বাণুটির কোন একপ্রকার সম্পর্কের দ্বারা স্থিরীকৃত হয়। এইরূপে, জীনটি **ডিম্বাশয়-এর** (ovary) **ভেতর** ডিম্বাণুটির ওপর ক্রিয়া করে ভবিষ্যৎ বংশধরদের খোলকের ছাঁচ নির্ধারিত করে।

'লিম্‌নিয়া'-র আলোচ্য মিউটান্ট (mutant) জীনটিকে 's' (সিনিস্‌-ট্রাল) প্রতীক দ্বারা এবং তার নর্‌ম্যাল অ্যালীল্‌টিকে + (ডেক্স্‌ট্রাল) প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করা যেতে পারে। এখন বিকাশমান ডিমের খোলকটি কোন্‌ দিকে পাক খাবে তা' তার নিজের জীনের দ্বারা নির্ধারিত না হয়ে, তার মাতার জীনের দ্বারা নির্ধারিত হয়। ডিম্বাণুটি (ovum) স্বভাবতই একটি ডিপ্লয়েড কোষ (উসাইট্‌) থেকে সৃষ্টি হয় এবং ঐ কোষটির জীনোটাইপ (genotype) দেহের অন্যান্য কোষের জীনো-টাইপের মতই। মনে করা যাক, মাতার খোলকটি ছিল সিনিস্‌ট্রাল ধরণের, অর্থাৎ মাতার জীনোটাইপ ছিল s/s (৩৯ নং চিত্র)। উক্ত জীনোটিপিক সংকেত (formula) উসাইট-সহ মাতার দেহের প্রতিটি কোষের ক্ষেত্রে প্রযুক্ত। ঐ উসাইটগুলির নিউক্লিয়সের s/s সংযুতির (composition) জন্য তাদের সাইটোপ্লাজ্‌মটি সিনিস্‌ট্রাল-এর বার্তা (information) বহন করবে। অতএব, উক্ত উসাইটগুলি হতে উৎপাদিত ডিম্বাণুগুলি + শুক্রাণু (ডেক্স্‌ট্রালের ডমিনান্ট্‌ অ্যালীল্‌-সমন্বিত) দ্বারা নিষিক্ত হলেও, সিনিস্‌ট্রাল খোলকযুক্ত শামুকের জন্ম দেবে। কিন্তু, সংকর (hybrid) প্রাণিগুলির উসাইটের নিউক্লিয়সের জেনেটিক সংযুতি হবে +/s, এবং যেহেতু + অ্যালীল্‌টি (ডেক্স্‌ট্রাল) ডমিনান্ট ধরণের, উসাইটগুলির সাইটো-প্লাজ্‌ম ডেক্স্‌ট্রাল-এর বার্তা লাভ করবে। অতএব, ডিম্বাণুগুলির (ova) সাইটোপ্লাজ্‌মটি ডেক্স্‌ট্রাল প্রকৃতির হবে এবং তারা ডেক্স্‌ট্রাল খোলকযুক্ত প্রাণির জন্ম দেবে। এখন, উক্ত সংকর (+/s) প্রাণিগুলির অর্ধেক পরিমাণ ডিম্বাণুর জীনোটাইপ হবে s। যদি s জীনোটাইপ-সম্পন্ন ডিম্বাণুগুলি s শুক্রাণু দ্বারা নিষিক্ত হয়, তাহলে তার ফল হিসাবে প্রাপ্ত প্রাণিগুলি (s/s), s লোকাসে হোমোজাইগাস হলেও তারা ডেক্স্‌ট্রাল খোলকযুক্ত হবে (৩৯ নং চিত্র), যেহেতু ডিম্বাণুর সাইটোপ্লাজ্‌মটি মাতার +/s জেনেটিক সংযুতির জন্য ডেক্স্‌ট্রাল-এর বার্তা বহন করে।

সংক্ষেপে বলতে গেলে, উপরিউক্ত সংকর +/s প্রাণীটির + জীনটি ক্রমবর্ধনকালে (during development) নিজের সক্রিয়তার (activity) প্রকাশ ঘটাতে পারে না; ঐ সক্রিয়তার ফল লাভ করে পরিণত প্রাণির ডিম্বাণুগুলি। অর্থাৎ, যতক্ষণ না প্রাণিটি পরিণতাবস্থা প্রাপ্ত হয়, ততক্ষণ জীনটির ক্রিয়া স্থগিত থাকে।

৩৯ নং চিত্রঃ—'লিমনিয়া'-র খোলকের ছাঁচ কিভাবে নির্ধারিত হয় তার চিত্র-সংকেত।

'শামুকের খোলকের পাক'-কে প্রায়ই **মেটারনাল ইন্‌হেরিট্যান্স্‌** (maternal inheritance) বলা হয়ে থাকে, কেননা, সন্তানের খোলকের পাকটি মাতার জীনোটাইপ দ্বারা নির্ধারিত হয়। কিন্তু, মাতার জীনোটাইপটি তার মাতা ও পিতা উভয়ের দ্বারাই স্থিরীকৃত হয়। সুতরাং আলোচ্য ইন্‌হেরিট্যান্সটি প্রকৃতপক্ষে মাতা ও পিতা উভয়ের দ্বারাই নিয়ন্ত্রিত হয়। অতএব, শামুকের খোলকের পাককে 'মেটারনাল ইন্‌হেরিট্যান্স' বলা ঠিক নয়।

শামুকের উদাহরণটি থেকে বোঝা যাচ্ছে যে রেসিপ্রোকাল ক্রসের দ্বারা 'সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌হেরিট্যান্স' নিশ্চিতরূপে প্রমাণিত হয় না। কারণ, আমরা যদি অমিশ্রিত জাতিগুলির (pure races) কেবলমাত্র রেসিপ্রোকাল ক্রস্‌ সম্পাদিত করতাম (সিনিস্‌ট্রাল ♀ × ডেক্স্‌ট্রাল ♂, ডেক্স্‌ট্রাল ♀ × সিনিস্‌ট্রাল ♂) তাহলে দেখা যেত প্রতি ক্ষেত্রেই $F_1$ জননের প্রাণিগুলি মাতার অনুরূপ হয়েছে। তা' থেকে ধারণা হতে পারতো, ইন্‌হেরিট্যান্সটি এক্ষেত্রে সাইটোপ্লাজ্‌মিক। এই ধারণা যে ঠিক নয়, তা' প্রমাণ করার জন্য $F_2$ জনন সৃষ্টি করা প্রয়োজন। তখন দেখা যাবে $F_2$ জননের প্রাণিগুলি তাদের মাতার পিতার অনুরূপ হয়েছে (যেখানে পিতাটি ছিল ডেক্স্‌ট্রাল ধরণের), মাতার মত নয়। ইন্‌হেরিট্যান্সটি সাইটোপ্লাজ্‌মিক হ'লে $F_2$ জননের প্রাণিগুলি শেষোক্ত প্রকারের হ'ত।

অতএব কোন একটি বৈশিষ্ট্যকে সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌হেরিট্যান্স হিসাবে সিদ্ধান্ত করতে হ'লে এটা দেখা প্রয়োজন যে, নবোৎপাদিত প্রাণিগুলি কেবলমাত্র $F_1$ জননেই নয়, পরবর্তী জননেও $P_1$ জননের মাতার অনুরূপ হচ্ছে (এবং প্রতি জননেই স্ত্রীটিকে বিপরীত জাতির পুরুষের সঙ্গে ক্রস্‌ করাতে হবে)।

বাস্তবিকপক্ষে, প্রাণিরাজ্যে 'সাইটোপ্লাজ্‌মীয় জীন'-এর অস্তিত্বের এখনও পর্যন্ত স্পষ্ট কোন প্রমাণ মেলে নি।

**উদ্ভিদে সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌হেরিট্যান্সঃ** উদ্ভিদের সাইটোপ্লাজ্‌মে প্লাস্‌টিড (plastid) নামে ছোট-ছোট কতকগুলি অঙ্গ আছে। তাদের মধ্যে কতকগুলিতে (ক্লোর'প্লাস্‌টিড বা হরিৎ প্লাস্‌টিডে) ক্লোরোফিল থাকে। অন্যগুলি (লিউকোপ্লাস্‌টিড বা অবর্ণপ্লাস্‌টিড) হয় বর্ণহীন এবং স্টার্চ-গ্রেন বা শ্বেতসারকণা সঞ্চয় করে রাখে। দুটি বিষয়ে প্লাস্‌টিড-এর সঙ্গে জীন-এর মিল আছেঃ (১) বিভাজনের দ্বারা তাদের সংখ্যাবৃদ্ধি ঘটতে পারে, এবং (২) তাদের মিউটেশন হতে পারে।

উদ্ভিদের বংশবৃদ্ধির আগে কয়েকটি প্লাস্‌টিড ডিম্বাণুতে প্রবেশ করে, কিন্তু পরাগরেণুতে (pollen grains) সচরাচর প্লাস্‌টিডের প্রবেশ ঘটে না। অতএব, শিশু-উদ্ভিদ্‌ তার প্লাস্‌টিডগুলিকে প্রধানত মাতৃ-অংশ (ডিম্বাণু) মারফৎ পেয়ে থাকে (এবং কয়েকটি বিশেষ-বিশেষ ক্ষেত্রে পিতৃ-অংশ থেকে)।

একটি প্লাস্‌টিডের বেশীর ভাগ অংশ জুড়ে থাকে ক্লোরোফিল অথবা সঞ্চিত কার্বোহাইড্রেট। প্লাস্‌টিডে 'জেনেটিক পদার্থের' (genetic material) পরিমাণ খুব কম। অণুবীক্ষণ যন্ত্রে তাকে নির্দিষ্টভাবে সনাক্ত করাও যায় নি। ডিম্বাণুর ভেতর প্লাস্‌টিডগুলি প্রোপ্লাস্‌টিড (proplastid) রূপে অবস্থান করে। ঐগুলির আকার (size) প্রথমে এত ছোট থাকে যে, তাদের সনাক্ত করা যায় না। সম্ভবত ক্লোরোফিল-বিহীন অবস্থায় এবং জেনেটিক পদার্থ ব্যতীত অন্য পদার্থের অনুপস্থিতিতে তারা দৃশ্য (visible) হয় না।

কখনও-কখনও এক-একটি শিশু-উদ্ভিদ্‌কে সাদা হতে দেখা যায়। তার কারণ হচ্ছে, উদ্ভিদ্‌টির প্লাস্‌টিডের মধ্যে ক্লোরোফিলের অভাব। সাধারণত শিশু-উদ্ভিদের সাদা হওয়ার মূল কারণটি হচ্ছে একটি রিসেসিভ্‌ ধরণের 'জীন-মিউটেশন' (gene mutation), যেটি যেকোন প্রকারেই হোক ক্লোরোফিল সৃষ্টিতে বাধা দেয়। মিউটান্ট-জীনটির (mutant gene) অবস্থান ক্রোমোসোমে এবং পরবর্তী জননে তার হস্তান্তর পদ্ধতিটি অন্যান্য জীনের মতই: অর্থাৎ তা' পরাগরেণু এবং ডিম্বাণু উভয়ের দ্বারাই হস্তান্তরিত হতে পারে। কিন্তু কখনও-কখনও মিউটেশনটি প্লাস্‌টিডের মধ্যে ঘটে থাকে, এবং এরূপ ক্ষেত্রে তা সাধারণত **কেবলমাত্র মাতৃ-অংশের দ্বারা হস্তান্তরিত হতে সক্ষম হয়।** এইরূপে (অর্থাৎ মিউটান্ট প্লাস্‌টিডের সাহায্যে) জানা যায় যে, প্লাস্‌টিডগুলি সাধারণত ডিম্বাণুর মাধ্যমে হস্তান্তরিত হয়ে থাকে।

**মিরাবিলিস (Mirabilis) উদ্ভিদে প্লাস্‌টিড-নিয়ন্ত্রিত ইন্‌হেরিট্যান্স:** 'মিরাবিলিস জ়ালাপা' (*Mirabilis jalapa*) নামক উদ্ভিদের 'অ্যাল্‌বোম্যাকুলেটা' (albomaculata) নামে একটি জাতি আছে। এদের পাতাগুলি সাদা ও হরিৎবর্ণের (green) ছাপযুক্ত হয়। সাদা অংশের সমস্ত প্লাস্‌টিড ক্লোরোফিলবিহীন হয়, কিন্তু হরিৎ অংশে সবগুলি না হলেও, অন্তত কিছু প্লাস্‌টিড হরিৎবর্ণের হয়ে থাকে। বাস্তবিকপক্ষে, কতকগুলি হরিৎ অংশে কেবলমাত্র হরিৎ প্লাস্‌টিড থাকে, অন্যান্য হরিৎ অংশে হরিৎ ও অবর্ণ উভয়প্রকার প্লাস্‌টিডই পাওয়া যায়। একটি হরিৎ ও একটি

সাদা এলাকার সীমান্ত অঞ্চলের কোষগুলির ভেতর প্রায়ই দু'প্রকারের প্লাস্‌টিডই থাকে। এথেকে ইঙ্গিত পাওয়া যায় যে, বিকাশমান (developing) উদ্ভিদে দু'প্রকার প্লাস্‌টিডযুক্ত কোষ হতে একপ্রকার প্লাস্‌টিড-সমন্বিত কোষের উৎপত্তি হয়। বাস্তবিকপক্ষে, কোষ বিভাজনের সময়, প্লাস্‌টিডগুলি সম্পূর্ণ অনিয়মিতভাবে (at random) বণ্টিত হয়। ফলে, কখনও-কখনও একটি কোষ কেবলমাত্র হরিৎবর্ণের প্লাস্‌টিড অথবা কেবলমাত্র অবর্ণ-প্লাস্‌টিড লাভ করে। এরূপ কোষ থেকে পরবর্তী কোষ-বিভাজনের দ্বারা একটি সম্পূর্ণরূপে হরিৎবর্ণের অথবা সম্পূর্ণরূপে সাদা অংশের সৃষ্টি হয়। এরূপ এক-একটি অংশের আকার (size) নানাপ্রকারের হতে পারে। একটি সম্পূর্ণ শাখা কেবলমাত্র হরিৎবর্ণের অথবা সাদা হওয়াও বিচিত্র নয়। একটি সম্পূর্ণরূপে হরিৎবর্ণের শাখায় উৎপাদিত বীজ থেকে যে শিশু-উদ্ভিদের সৃষ্টি হয় সেটি সাদা হতে দেখা যায় (এবং পরিণত অবস্থায় পৌঁছানোর আগেই তার মৃত্যু ঘটে)। সাদা ও হরিৎ উভয়প্রকার বর্ণযুক্ত শাখায় যে ডিম্বাণুর উৎপত্তি হয়, তাদের মধ্যে উভয়প্রকার প্লাস্‌টিডই বর্তমান থাকে। এরূপ ডিম্বাণুগুলি নিষিক্ত হওয়ার পর যে উদ্ভিদের সৃষ্টি হয়, তাদের উভয় বর্ণযুক্ত হতে দেখা যায়। উপরিউক্ত প্রতিটি ক্ষেত্রেই দেখা যাচ্ছে, শিশু-উদ্ভিদের বর্ণের ওপর পরাগরেণুর কোনই প্রভাব নেই। তাদের বর্ণ সম্পূর্ণরূপে ডিম্বাণুর দ্বারা, প্রকৃতপক্ষে ডিম্বাণুর প্লাস্‌টিডের দ্বারা, নির্ধারিত হয়। যেহেতু প্লাস্‌টিডগুলি সাইটোপ্লাজ্‌মে অবস্থিত, অতএব, আলোচ্য ইন্‌হেরিট্যান্সের ঘটনাটি একটি সাইটোপ্লাজ্‌মিক ইন্‌হেরিট্যান্স।

এ-ব্যাপারে কোনই সন্দেহ নেই যে, সাইটোপ্লাজ্‌মের ভেতর কোন না কোন এক ধরণের হেরিডিট্যারি উপাদানের অস্তিত্ব কোন-কোন ক্ষেত্রে আছে। উদ্ভিদে প্লাস্‌টিডগুলির প্রকৃতি নিশ্চিরূপে জীন-এর ন্যায়। কিন্তু, অন্যান্য জীবে সাইটোপ্লাজ্‌মীয় জীনের অস্তিত্ব বিতর্কের বিষয়। সাইটোপ্লাজ্‌মীয় জীনের সমস্যাটি আরও গুলিয়ে যায় এইকারণে যে, সাইটোপ্লাজ্‌মের ভেতর ভাইরাস অথবা সিম্বায়োণ্টদের অস্তিত্ব থাকতে পারে এবং তারা বংশপরম্পরায় হস্তান্তরিত হতে পারে ও কার্যকলাপে জীন-কে অনুকরণ করতে পারে।